

SISTEMA DE RUTEO PARA ALIMENTOS JOSÉ A LTDA.

AUTOR:
ANDRÉS FELIPE CORONADO CONTRERAS

UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ; D.C.
2012

SISTEMA DE RUTEO PARA ALIMENTOS JOSÉ A LTDA.

AUTOR:
ANDRÉS FELIPE CORONADO CONTRERAS

DIRECTOR
EVER ÁNGEL FUENTES ROJAS
INGENIERO INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ; D.C.
2012

A mi familia, profesores y
amigos, por su incondicional
apoyo y ejemplo de
fortaleza, por ello, con toda
humildad les dedico este
trabajo de grado.

Andrés Coronado.

AGRADECIMIENTO

El autor expresa su más profundo sentido de agradecimiento de manera especial y sincera:

Ever Ángel Fuentes Rojas, ingeniero Industrial, docente y director del programa de ingeniería industrial de la Universidad Libre por aceptar realizar este trabajo de grado bajo su dirección, apoyo y confianza. Su orientación fue un aporte invaluable no solamente en este trabajo si no en mi desarrollo personal y profesional.

Leyla Nayibe Ramirez Castañeda, Ingeniera industrial y docente de la Universidad Libre por aceptar realizar este trabajo de grado bajo su asesoría metodológica.

Ingenieros, docentes y amigos de la universidad libre que orientaron el desarrollo de este trabajo de grado.

La gerente de producción Leonor Bastidas Garzón, gerente general Marcela Bastidas y empleados de Alimentos José A Ltda. que me permitieron desarrollar mi proyecto de grado en sus instalaciones y con dedicación aportaron ideas valiosas, cediendo parte de su tiempo en estudios pilares para la realización del presente trabajo.

RESUMEN

Este trabajo propone diferentes alternativas de ruteo en la cadena de abastecimiento para una empresa con más de treinta y siete años en la industria colombiana produciendo y comercializando alimentos refrigerados y horneados, para su desarrollo se realizó una caracterización y evaluación de sus procedimientos en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre de 2011, Enero y Febrero de 2012, utilizando herramientas como indicadores de servicio, diagrama de Pareto, diagrama causa efecto, matriz de decisiones y análisis DOFA, permitiendo desarrollar un sistema de abastecimiento acorde con las necesidades y características que presenta Alimentos José A Ltda, dicho sistema fue desarrollado de acuerdo con el planteamiento en programación lineal del problema del agente de comercio (Traveling salesman problema TSP) y sus variantes en programas especializados como Gusek versión 0.2.12 y Grafos versión 1.3.5. Cada propuesta para el abastecimiento presenta su respectivo análisis en función de tres variables fundamentales como tiempos, costos y distancias.

Palabras claves: Cadena de abastecimiento, programación lineal, ruteo, caracterización, empresa

ABSTRAC

This paper proposes routing alternatives in the supply chain for a company with thirty-seven years in Colombian industry producing and selling refrigerated and baked for developing a characterization and assessment of its procedures in the months of October, November and December 2011 and January February 2012, using tools such as service indicators, Pareto diagram, cause and effect diagram, decision matrix and SWOT analysis, allowing to develop a supply system that meets the needs and characteristics of the company, the system was developed according to the linear programming approach of Traveling Salesman problem TSP and its variants for specialized programs like Gusek version 0.2.12 and Grafos version 1.3.5. Each proposal for supplying presented their analysis in terms of three key variables such as time, cost and distance.

Keywords: supply chain, linear programming, routing, characterization, company

	CONTENIDO	Pág.
	INTRODUCCIÓN	13
	JUSTIFICACIÓN	14
1	GENERALIDADES	15
1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.1.2	Formulación del problema	16
1.1.3	Objetivo general	16
1.1.4	Objetivos específicos	16
1.2	DELIMITACIÓN DEL PROYECTO	17
1.3	MARCO METODOLÓGICO	18
1.3.1	Tipo de investigación	18
1.3.2	Cuadro metodológico	18
1.4	MARCO LEGAL Y NORMATIVO	20
1.9	RESOLUCIÓN No. 002505 DE 6 SET 2004	21
1.5	ANTECEDENTES	23
1.6	MARCO TEÓRICO	25
1.6.1	Ruteo	25
1.6.2	Importancia de un sistema de ruteo	26
1.7	MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN Y DISEÑO DE RUTAS.	27
1.8	HERRAMIENTAS PARA SOLUCIONAR MODELOS DE ABASTECIMIENTO	28
1.10	MARCO CONCEPTUAL	38
2	DESARROLLO DEL PROYECTO	42
2.1	CONTEXTUALIZACIÓN	42
2.1.1	Movilidad en Bogotá D.C	43
2.1.2	Problemáticas	44

2.2	ANÁLISIS INTERNO	45
2.3	DESCRIPCIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO	47
2.4	INDICADORES DEL SERVICIO	51
2.5	PRINCIPALES CAUSAS QUE AFECTAN EL SISTEMA	60
2.6	MATRIZ DE DECISIÓN	64
2.7	ANÁLISIS DOFA	65
2.8	DIFERENCIAS Y NECESIDADES DE LA COMPAÑÍA	67
2.9	MODELAMIENTO MATEMÁTICO BASADO EN EL PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO	68
2.10	SOLUCIÓN DEL PLANTEAMIENTO MATEMÁTICO CON EL PROGRAMA GUSEK	76
2.11	SOLUCIÓN EN GRAFOS 1.3.5	86
2.12	SOLUCIÓN POR ESCENARIOS	91
2.12.1	Escenario 1.	96
2.12.2	Escenario 2.	101
2.12.3	Escenario 3.	104
3	ANÁLISIS DE RESULTADOS	116
	CONCLUSIONES	118
	RECOMENDACIONES	119
	BIBLIOGRAFÍA	120
	CIBERGRAFÍA	121

LISTADO DE TABLAS	Pág.
Tabla 1. Cuadro metodológico	18
Tabla 2. Marco legal y normativo	20
Tabla 3. Indicadores de logística	36
Tabla 4. Descripción recorrido I	48
Tabla 5. Descripción recorrido II	48
Tabla 6. Hoja de vida indicador calidad de los pedidos generados	51
Tabla 7. Hoja de vida indicador entregas recibidas sin inconvenientes	53
Tabla 8. Hoja de vida indicador nivel de cumplimiento	56
Tabla 9. Hoja de vida indicador nivel de utilización del transporte	58
Tabla 10. Calificación de datos	62
Tabla 11. Datos para el diagrama de Pareto, participación rechazos	63
Tabla 12. Matriz demanda / utilidades de abastecimiento	65
Tabla 13. Matriz de distancia	69
Tabla 14. Secuencia de abastecimiento según Gusek	84
Tabla 15. Comparacion según Gusek	84
Tabla 16. Secuencia según Grafos 1.3.5	88
Tabla 17. Salario de operarios	91
Tabla 18. Portafolio de Alimentos José A Ltda.	92
Tabla 19. Costo maquinaria y equipo	93
Tabla 20. Porcentaje de absorción de cada equipo	93
Tabla 21. Demanda mensual e ingresos	94
Tabla 22. Malla de costos	95
Tabla 23. Costo outsourcing	97
Tabla 24. Secuencia ruta 1 Grafos	99
Tabla 25. Secuencia ruta 2 Grafos	100
Tabla 26. Costo outsourcing x 8 puntos	101
Tabla 27. Secuencia x 15 puntos	103
Tabla 28. Secuencia x 3 puntos	103
Tabla 29. Costo outsourcing x 3 puntos	104
Tabla 30. Inversión en el nuevo CENDI	105

Tabla 31. Análisis VAN y TIR	106
Tabla 32. Anualidad o serie uniforme	107
Tabla 33. Costo CENDI	108
Tabla 34. Centro de gravedad	109
Tabla 35. Centro de gravedad 2	110
Tabla 36. Matriz de distancia X_{ij} con CENDI	112
Tabla 37. Ruta 1 Grafos	113
Tabla 38. Ruta 2 Guseck	113
Tabla 39. Comparación de Soluciones	117

LISTADO DE FIGURAS	Pág.
Figura 1. Esquema causa efecto alimentos José A	16
Figura 2. Mapa de ubicación	17
Figura 3. Los factores claves para elegir un servicio de transporte	26
Figura 4. Diagrama ruta más corta	29
Figura 5. Diagrama procedimiento general de un algoritmo genético	33
Figura 6. Crossover	34
Figura 7. Mutación	34
Figura 8. Costo total de la logística por región/país	42
Figura 10. Diagrama de bloques de la cadena de abastecimiento dealimentos José a Ltda	46
Figura 11. Ruta 1	49
Figura 12. Ruta 2	50
Figura 13. Esquema causa efecto alimentos José A	61
Figura 14. Diagrama de Pareto de pedidos entregados fuera de tiempo o rechazados	63
Figura 15. Participación de los puntos de venta / carga	64
Figura 16. Matriz DOFA	66
Figura 17. Matriz estrategias DOFA	67
Figura 18. Modelamiento en Gusek I	77
Figura 19. Modelamiento en Gusek II	78
Figura 20. Distancias de un punto de venta a otro I	79
Figura 21. Distancias de un punto de venta a otro II	79
Figura 22. Distancias de un punto de venta a otro III	80
Figura 23. Distancias de un punto de venta a otro IV	80
Figura 24. Distancias de un punto de venta a otro V	81
Figura 25. Distancias de un punto de venta a otro VI	81
Figura 26. Distancias de un punto de venta a otro VII	82
Figura 27. Distancias de un punto de venta a otro VIII	82
Figura 28. Solución con el software Gusek 0.2.12	83
Figura 29. Mapa con la ruta hallada en Guseck	85
Figura 30. Matriz x_{ij} en Grafos 1.3.5	86

Figura 31. Interfaz gráfica de la matriz X_{ij}	87
Figura 32. Solución interfaz gráfica aleatoria de la matriz X_{ij}	89
Figura 33. Solución interfaz gráfica circular de la matriz X_{ij}	90
Figura 34. Solución interfaz gráfica m TSP en Grafos	98
Figura 35. Mapa ruta 1 según Grafos 1.3.5	99
Figura 37. Solución Guseck x 15 puntos de venta	102
Figura 38. Ubicación del nuevo CENDI	111
Figura 39. Ruta 2 Guseck	114
Figura 40. Recorrido de 15 puntos de venta	115

LISTADO DE FÓRMULAS	Pág.
Fórmula 1. Problema del agente viajero	30
Fórmula 2. Matriz de feromonas	31
Fórmula 3. Intensidad de feromonas	31
Fórmula 4. Evaporación de feromonas	32
Fórmula 5. Incremento de feromonas	32
Fórmula 6. Matriz feromonas	32
Fórmula 7. Distancia menor colonia de hormigas	32
Fórmula 8. Forma canónica programación lineal	35
Fórmula 9. Programación binaria	36
Fórmula 10. Función objetivo TSP	70
Fórmula 12. Restricciones teóricas	70

INTRODUCCIÓN

La realización de este proyecto surge en respuesta a la necesidad de mejorar el sistema de ruteo de la empresa Alimentos José a Ltda. la cual ha presentando deficiencias en su nivel de servicio, ocasionando un deterioro en la relación usuario-empresa, devoluciones, incremento en costos logísticos, costos de producción y disminución en las ingresos de la empresa. De esta manera, al contextualizar el estado actual de la empresa se concluye que replantear el sistema de abastecimiento permitirá aumentar el tiempo de respuesta al cliente y mejorar la competitividad de la compañía.

Con base en la caracterización realizada con diagnósticos y análisis como diagrama causa efecto, diagramas de Pareto, matriz de decisión, georreferenciación entre otros, se propuso una modificación teniendo en cuenta las características, fortalezas y debilidades propias de la empresa.

Se utilizó la programación lineal como herramienta para modelar el problema del agente de comercio (TSP) estableciendo secuencias óptimas y se utilizaron diferentes programas como Guseck versión 0.2.12 y Grafos 1.3.5 para comprobar las soluciones halladas. Las propuestas planteadas estuvieron en función de mejorar los rendimientos en los procesos cuantificados en tiempos y distancias que presenta en los puntos de venta: Avenida Dorado, Modelia, Galerías, Candelaria, Colina campestre, Alhambra, Unicentro, Centro comercial Santa Barbará, la punta, Nueva Autopista, Chico, Country, HC 170 y Villa del Prado

Posteriormente se realizó un análisis financiero detallado con el objetivo de no incrementar drásticamente los costos contemplados por la empresa permitiendo su posible implementación.

JUSTIFICACIÓN

La realización de este proyecto buscó la profundización, interpretación y análisis de modelos de ruteo, herramientas de diagnóstico e indicadores de gestión, para mejorar el sistema de abastecimiento utilizado por Alimentos José A Ltda. La cual presenta un amplio portafolio de productos con más 30 puntos de venta en Bogotá, Medellín, Pereira, Barranquilla, Cali y Santa Marta. La principal causa por la cual el sistema presenta falencias en el servicio radica en la relación usuario-empresa que se ha deteriorado por su abastecimiento empírico, perdiendo credibilidad en la marca y en los productos, motivando al departamento administrativo para el desarrollo e investigación de un nuevo modelo que mejore las deficiencias del sistema actual y permita una mayor competitividad. La compañía suministró datos, tiempos, balances, estadísticas, información, infraestructura, puntos de venta, personal y transporte, para el desarrollo del proyecto.

En el desarrollo del sistema de ruteo, fue necesario utilizar conceptos propios de ingeniería industrial, como investigación de operaciones, programación lineal, logística, modelos matemáticos, programas de simulación entre otros; contando con la orientación del director del proyecto, la gerente de Alimentos José A Ltda. Cuerpo docente de la Universidad Libre, bibliografía, y el interés personal por desarrollar y profundizar conceptos en el área de logística.

1 GENERALIDADES

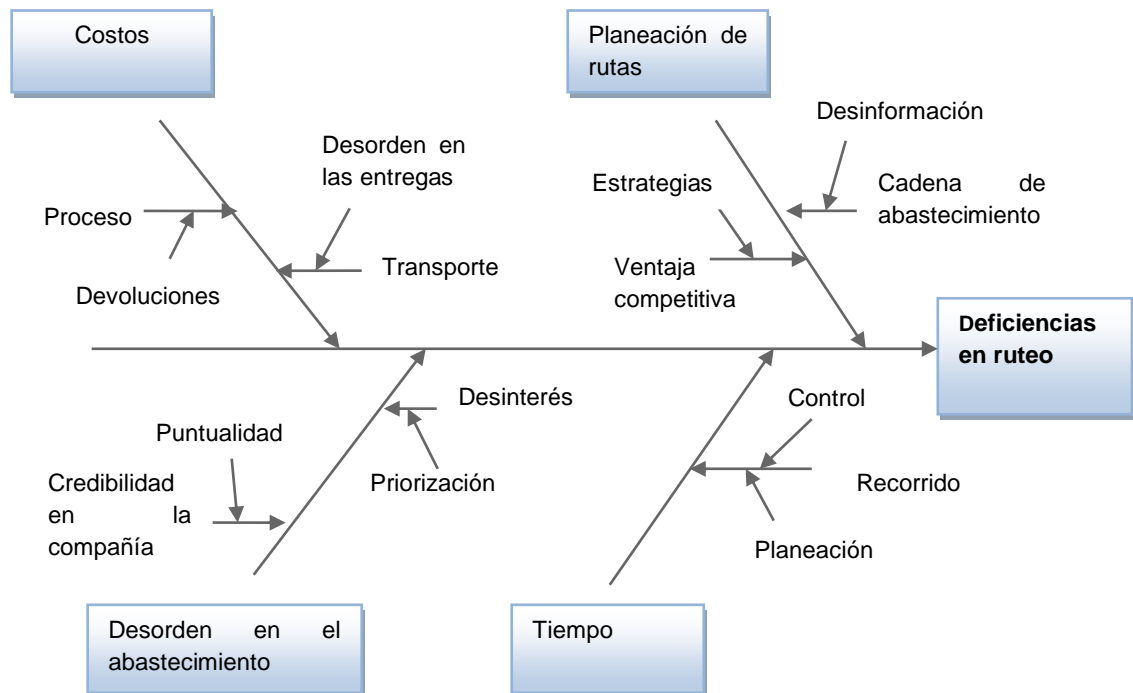
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Alimentos José A Ltda. es una empresa que inicio en 1972 en la carrera 11 con calle 73 de Bogotá D.C. Produciendo y vendiendo obleas, convirtiendo este producto casero en la base de su éxito y desarrollando un amplio portafolio para satisfacer las exigencias de sus clientes, pan de bono, pan de yuca, almojábanas, buñuelos, pasteles de carne, pollo, arequipe, bocadillo, mantecada, masato, avena y kumis, son elaborados en su planta de producción situada en el barrio Florencia de Bogotá DC; hoy tiene más de 30 puntos de venta en Bogotá, Medellín, Pereira, Barranquilla, Cali y Santa Marta.

Alimentos José A Ltda. dispone de un carro para realizar el abastecimiento de sus concesiones: Avenida Dorado, Modelia, Galerías, Candelaria, Colina campestre, Alhambra, Unicentro, Centro comercial Santa Barbará, la punta, Nueva Autopista, Chico, Country, HC 170 y Villa del Prado; en algunos meses y en especial en diciembre la demanda aumenta un 50% aproximadamente, por reuniones familiares, empresariales y eventos. Dichos almacenes deben estar completamente abastecidos para realizar el horneado, preparación y organización de alimentos y entregar a tiempo los pedidos. Aunque no se lleva un seguimiento estricto se calcula que las devoluciones son del 20% ocasionando pérdida de clientes, materia prima y desinterés en la marca, la empresa no cuenta con recursos financieros para comprar o contratar sistemas adicionales de transporte para el abastecimiento.

En el diagrama causa efecto que se detalla en la figura 1, se analiza las causas por las cuales el sistema de distribución en la empresa presenta deficiencias afectando la relación cliente-empresa-rentabilidad. Las principales causas halladas son la falta de una planeación estratégica que cumpla con las necesidades de la empresa, los tiempos y demoras en la entrega de mercancía, desorden en el abastecimiento y los costos que se presentan en el combustible y en las devoluciones de productos específicos con dimensiones o características exigidas por el cliente y que por lo general la empresa no comercializa.

Figura 1. Esquema causa efecto alimentos José A



Fuente: El autor. 2012

1.1.2 Formulación del problema: La deficiencia en las rutas para el abastecimiento de los almacenes genera altos costos de transporte y aumenta la insatisfacción del cliente

1.1.3 Objetivo general: Desarrollar un sistema de ruteo para ALIMENTOS JOSÉ A LTDA. Utilizando programación lineal y solución por escenarios para aumentar su nivel de servicio.

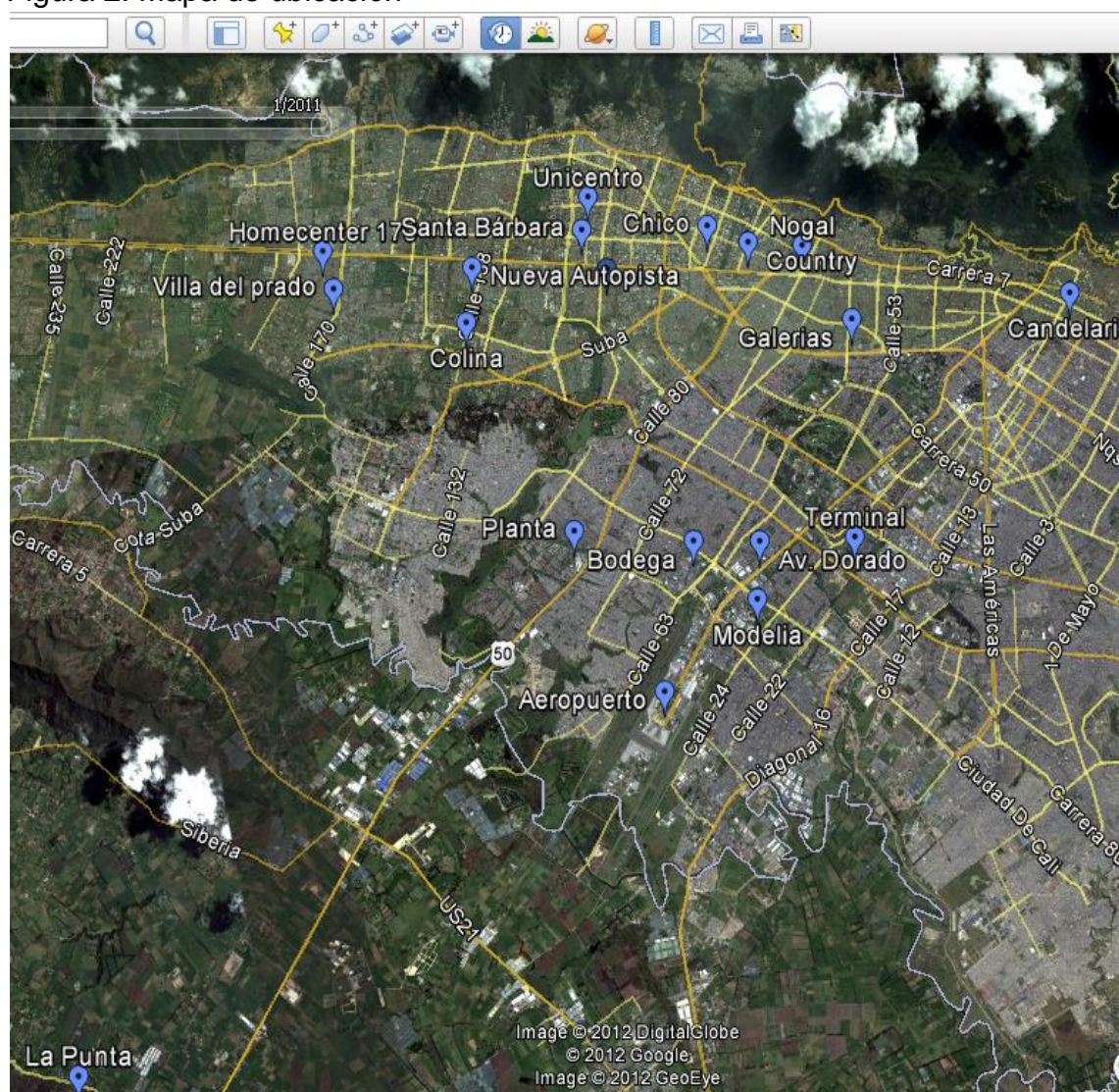
1.1.4 Objetivos específicos:

- Caracterizar el sistema de ruteo actual identificando procedimientos, tiempos e indicadores utilizados en la cadena de abastecimiento.
- Evaluar el sistema de ruteo actual determinando sus posibles falencias y aspectos a mejorar.
- Desarrollar un sistema de ruteo adecuado que resuelva los problemas de abastecimiento de los almacenes de Alimentos José A Ltda.
- Simular el modelo propuesto para Alimentos José A Ltda.
- Validar la eficiencia del modelo de Alimentos José A LTDA. comparando tiempos y costos.

1.2 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se desarrolló durante 11 meses (330 días hábiles) en la Universidad Libre con la asesoría del director del proyecto, profesores, software y bibliografía pertinente que facilite el entendimiento y desarrollo del proyecto; será necesario analizar, el transporte utilizado, personal involucrado, el sistema de suministro utilizado para abastecer los almacenes, Avenida Dorado, Modelia, Galerías, Candelaria, Colina campestre, Alhambra, Unicentro, Centro comercial Santa Barbará, la punta, Nueva Autopista, Chico, Country, HC 170 y Villa del Prado, y la planta de producción situada en el barrio Florencia de Bogotá, como se detalla en la figura 2 mapa de ubicación. La empresa tendrá el criterio de la implementación, dicha simulación pretende mostrar un sistema para reducir costos que beneficiará directamente a ALIMENTOS JOSÉ A LTDA.

Figura 2. Mapa de ubicación



Fuente: Google Earth. 2012

1.3 MARCO METODOLÓGICO

1.3.1 Tipo de investigación. Mixta Aplicada: Este tipo de investigación también recibe el nombre de práctica o empírica. Se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren, la investigación aplicada se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, pues depende de los resultados y avances de esta última; esto queda aclarado si se tiene en cuenta que toda investigación aplicada requiere de un marco teórico. Sin embargo, en una investigación empírica, lo que le interesa al investigador, primordialmente, son las consecuencias prácticas, si una investigación involucra problemas tanto teóricos como prácticos, recibe el nombre de mixta.¹

1.3.2 Cuadro metodológico

Tabla 1. Cuadro metodológico

Objetivo específico	Actividades	Metodología	Técnica recolección de datos
Caracterizar el sistema de ruteo actual determinando diferencias y necesidades propias de la empresa	Visita a los puntos de venta con la ruta, que utiliza la empresa para abastecer dichos puntos. Identificación tiempos (Totales, punto a punto y de retrasos) en los que incurren las rutas.	Investigación aplicada en las rutas de la compañía. Reconocimiento de los métodos utilizados por la compañía.	Observación directa. Entrevista de campo Toma de tiempos
Evaluar el sistema de ruteo identificando fortalezas y debilidades.	Realización de un diagnóstico del sistema utilizado por la empresa. Identificación las principales variables que afectan al sistema. Utilizar los indicadores logísticos para identificar el grado de eficiencia del modelo utilizado por la compañía.	Análisis de datos realizados durante la investigación. Aplicación de los indicadores logísticos.	Entrevista de campo Toma de tiempos

¹FLORES,Ortiz. Importancia de la incorporación temprana a la investigación científica en La Universidad de Guadalajara, México, 2007

<p>Desarrollar el sistema de ruteo adecuado que resuelva los problemas de abastecimiento de los almacenes de ALIMENTOS JOSÉ A.</p>	<p>Planteamiento de los diferentes métodos utilizados para el desarrollo del sistema de ruteo tales como (Algoritmo genético, algoritmo colonia de hormigas, programación lineal, entre otros)</p> <p>Análisis de los métodos planteados buscando su adaptabilidad a la compañía.</p> <p>Selección de los métodos que mejor se acoplen al sistema de ruteo utilizado por la empresa.</p>	<p>Selección de los métodos de ruteo planteados adaptándolos a las necesidades y características de la compañía.</p>	<p>Análisis de datos</p>
<p>Simular el modelo de ruteo para ALIMENTOS JOSÉ A.</p>	<p>Capacitación sobre el software empleado (Excel, visual Basic, entre otros) para ejecutar la simulación.</p> <p>Ingreso de la información y datos correspondientes a la computadora.</p> <p>Iniciación de la simulación de los modelos seleccionados.</p>	<p>Simulación de los modelos escogidos de acuerdo con las variables que presenta la empresa</p>	<p>Programas de simulación</p> <p>Análisis de datos</p>

Validar la eficiencia del modelo de ruteo de ALIMENTOS JOSÉ A, a través de a simulación.	Supervisión de los modelos simulados. Interpretar los resultados obtenidos en las simulaciones, para determinar su eficiencia en la empresa. Comparación del modelo real, con los modelos propuestos para determinar si es eficiente, y realizar los diferentes ajustes, para la optimización de este. Socialización del modelo con la empresa.	Control e interpretación de los modelos escogidos de acuerdo con su grado de eficiencia y adaptabilidad con las necesidades compañía.	Comparación resultados comparándolos con los utilizados actualmente en la empresa.
------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: El autor. 2012

1.4 MARCO LEGAL Y NORMATIVO

De acuerdo al sector al que pertenece la empresa y los productos producidos y comercializados a continuación se presenta el marco legal y normativo en el cual jurídicamente se detallan las normas, decretos y resoluciones que se deben tener en cuenta para el desarrollo del proyecto.

Tabla 2. Marco legal y normativo

MARCO LEGAL	DESCRIPCIÓN
DECRETO 2278 DEL 2 DE AGOSTO DE 1982 DE MINISTERIO DE SALUD	Reglamenta el sacrificio de animales de abasto público para consumo humano, procesamiento, transporte y comercialización de su carne.
DECRETO 2162 DE 1983 DEL MINISTERIO DE SALUD	Regula la producción, procesamiento, transporte y expendio de los productos cárnicos procesados
DECRETO 2437 DE 1983 DE MINISTERIO DE SALUD	Regula la producción, procesamiento, transporte y comercialización de la leche

RESOLUCIÓN 14712 DE 1984 DE MINISTERIO DE SALUD	Se reglamenta lo relacionado con producción, procesamiento, transporte, almacenamiento y comercialización de vegetales como frutas y hortalizas elaboradas
DECRETO 1601 DE 1984 MINISTERIO DE SALUD Y MINTRANSPORTE	Reglamenta la sanidad portuaria y vigilancia epidemiológica en naves y vehículos terrestres.
RESOLUCIÓN 2310 DE 1986 DE MINISTERIO DE SALUD	Regula lo concerniente a procesamiento, composición, requisitos, transporte y comercialización de los derivados lácteos.
RESOLUCIÓN 1804 DE 1989 MINISTERIO DE SALUD	Por la cual se modifica la Resolución 2310 de 1986. Lácteos
RESOLUCIÓN 11961 DE 1989 MINISTERIO DE SALUD	Modifica parcialmente la resolución número 2310 del 24 de febrero de 1986. Lácteos
RESOLUCIÓN 7992 DE 1991 MINISTERIO DE SALUD	Por la cual se reglamenta parcialmente lo relacionado con la elaboración, conservación y comercialización de jugos, concentrados, néctares, pulpas, pulpas azucaradas y refrescos de frutas.
DECRETO 2131 DE 1997 MINISTERIO DE SALUD	Disposiciones sobre productos cárnicos procesados.
DECRETO 3075 DE 1997 DEL MINISTERIO DE SALUD	Regula las actividades de fabricación, procesamiento, preparación, envase, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de alimentos en el territorio nacional
DECRETO 476 DE 1998 DE MINSALUD Y MINAGRICULTURA	Modifica algunos artículos del Decreto 2437/83 y deroga el Decreto 2473/86 sobre leches
DECRETO 977 DE 1998 DE MIN SALUD Y MINDESARROLLO	Crea el Comité Nacional del CODEX alimentarios y se fijan sus funciones
DECRETO 1270 DE 2002 MINISTERIO DE SALUD	Adiciona literal al artículo 50 del Decreto 3075 de 1997.
RESOLUCIÓN No. 002505 DE 2004	1.9 RESOLUCIÓN No. 002505 DE 6 SET 2004 Requerimientos de vehículos destinados a transporte: La unidad de transporte de los vehículos destinados a la movilización de los productos objeto de esta resolución, debe cumplir con los

	<p>siguientes requisitos: Las partes interiores de la unidad de transporte, incluyendo techo y piso deben ser herméticas, así como los dispositivos de cierre de los vehículos, la de ventilación y circulación interna de aire, deben estar fabricadas con materiales resistentes a la corrosión, impermeables, con diseños y formas que no permitan el almacenamiento de residuos y que sean fáciles de limpiar, lavar y desinfectar.</p> <p>La unidad de transporte debe tener aislamiento térmico revestido en su totalidad para reducir la absorción de calor, las puertas deben ser herméticas, de modo que una vez dentro, la carga quede aislada del exterior.</p> <p>El diseño de la unidad de transporte debe permitir la evacuación de las aguas de lavado. En caso que la unidad de transporte tenga orificios para drenaje, estos deben permanecer cerrados mientras la unidad contenga el alimento.</p> <p>Toda unidad de transporte en donde se movilicen alimentos refrigerados o congelados debe estar equipada con un adecuado sistema de monitoreo de temperatura de fácil lectura y ubicado en un lugar visible, donde se pueda verificar la temperatura requerida y la temperatura real del aire interno, desde el momento en que se cierran las puertas de la unidad de transporte.</p> <p>En el caso de unidades de transporte sin unidad de frío se debe contar con un sistema de monitoreo sencillo y apropiado para las condiciones de entrega del Producto. Este sistema puede ser un termómetro de punzón para alimentos, debidamente calibrado, cintas indicadoras de temperatura ó termógrafos desechables, entre otros.</p> <p>El transporte de alimentos definidos en esta Resolución se podrá realizar en vehículos tipo isoterma que garanticen la temperatura exigida de transporte, de tal forma que conserven sus características de inocuidad.²</p> <p>a. Acta de inspección para transporte de</p>
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

² Colombia. ministerio de transporte (RESOLUCIÓN No. 002505 DE 6 SET 2004). Bogotá D.C. Por la cual se reglamentan las condiciones que deben cumplir los vehículos para transportar carne, pescado o alimentos fácilmente “corruptibles” El Ministro de transporte. 2004 4p.

	<p>alimentos</p> <p>En esta inspección se verifica que los alimentos estén excluidos de contaminación y/o de la proliferación de microorganismos, y a su vez que sean protegidos contra la alteración del alimento o los daños del envase. Los alimentos se deben mantener refrigerados o congelados y deben ser transportados y distribuidos bajo condiciones que aseguren y garanticen el mantenimiento de las condiciones de refrigeración hasta su destino final para así cumplir con las condiciones sanitarias.³</p>
ISO 28000	<p>Norma internacional de gestión de seguridad de la cadena de suministro. Ofrece a las organizaciones que trabajan dentro de lo que depende de la industria logística, una estructura que identifica aspectos críticos en el aseguramiento de la seguridad de su cadena de suministro</p>

Fuente: El autor. 2012

1.5 ANTECEDENTES

Los proyectos tomados como antecedentes presentan metodologías y planteamientos similares proporcionando ejemplos y guías que orientan el desarrollo del plan logístico en Alimentos José A LTDA.

En el trabajo, optimización del proceso logístico en una empresa colombiana de alimentos congelados y refrigerados, se presentan los resultados de un proyecto en el que se desarrolla un modelo de decisión basado en programación lineal, para establecer políticas de empaque y envío de sus productos.

Esta empresa es una de las más grandes del país en el sector y abastece el territorio nacional y exporta a países vecinos. El problema consiste en minimizar costos logísticos de transporte y distribución sujeto a restricciones de capacidad, tipos de empaque y satisfacción de demanda. Se presenta también un análisis de sensibilidad que muestra posibles escenarios futuros.⁴ Actualmente, la empresa hace uso del modelo para optimizar sus procesos logísticos.

³Acta de inspección para transporte de alimentos. Internet. http://www.bogota.gov.co/portel/libreria/php/framedetalle_scv.php?h_id=24317

⁴ TRIANA TAPIAS, Karol. Análisis y evaluación del modelo logístico de distribución para WYETH Bogotá. 2008. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad Administración de empresas. Disponible catalogo en línea de la biblioteca de la Universidad Javeriana. <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis>

En el proyecto Análisis y evaluación del modelo logístico de distribución para WYETH Bogotá, se presenta a la logística como una ciencia en continua evolución. Su objetivo es ilustrar la manera en que ésta cambia y evoluciona, rompiendo así paradigmas arraigados a través del estudio de la distribución en la empresa WYETH CONSUMER HEALTH CARE, específicamente en su división de venta libre (Forconsumer), en la ciudad de Bogotá. Conceptos como distribución inmediata (Cross docking), logística cooperativa y masa crítica, son puestas en funcionamiento, dando como resultado, una estrategia en la disminución de costos y generación de valor agregado para la empresa (Know-how).⁵

Necesidades logísticas en la capacitación y asesoría del sector manufactura en Bogotá: La capacidad de una empresa de permanecer en el mercado depende de muchos factores el más básico de ellos es ofrecer un producto que satisfaga las expectativas de calidad del cliente, pero además de esto es necesario que dicho producto se encuentre en el lugar y el momento en que el cliente lo necesita. Esta capacidad de mantener la participación en el mercado es lo que le da sentido a la logística y a la administración de la cadena de suministros, cuya metodologías intentan mejorar los procesos no solo hacia el interior de la empresa, sino a través de toda la cadena, fortaleciendo las relaciones comerciales con clientes y proveedores, con el objetivo de abarcar el mayor mercado posible, lo que se traduce en mayor rentabilidad y utilidad para la empresa, para el desarrollo de este proyecto el autor diseño un cuestionario con tres tipos de preguntas abiertas, dicotómicas, y de selección múltiples para clasificar empresas del sector de manufactura de acuerdo a su grado de logística, determinando necesidades y fortalezas del sector en la cadena de suministro.⁶

Diseño del sistema logístico de la cadena de abastecimiento del desperdicio y desecho del vidrio en Colombia para exportar achile: El proyecto caracterizó y analizó rutas de transporte de la planta Alquería ubicada en Bogotá al puerto de Buenaventura determinando rutas, costos y tiempos óptimos, durante la segunda etapa, se llevo a cabo el transporte internacional de los desperdicios y desechos de vidrio, desde el puerto de Buenaventura, hasta el puerto de destino en Chile. Para su realización fue necesario determinar la capacidad de carga de cada camión, el empaque, el embalaje y las cualidades propias del desecho del vidrio, presentando resultados a corto plazo donde es más rentable enviando contenedores de material mixto (Diferentes colores), a largo plazo, el Centro de reciclaje la Alquería se debe especializar en recolección y exportación de vidrio color ámbar, logrando así enviar la mercancía en

⁵CASTRO, Elkin. Optimización del proceso logístico en una empresa de colombiana de alimentos congelados y refrigerados: Revista de la Universidad de los Andes. Vol 2, (agosto 2007); p 47-53

⁶ GARZON BLANCA, Andrea. Necesidades logísticas en la capacitación y asesoría del sector manufactura en Bogotá D.C. 2004, trabajo de grado. Pontificia universidad javeriana. Facultad de ingeniería. Disponible catalogo en línea de la biblioteca de la Universidad Javeriana. <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis>

contenedores a granel disminuyendo costos en empaque primario de exportación y así generar mayores utilidades.

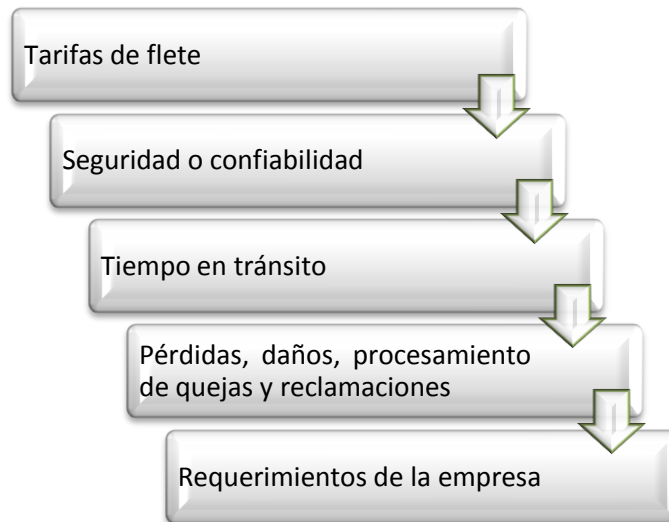
Se tomó como referencia el modelo utilizado en programación lineal del proyecto “optimización del proceso logístico en una empresa de alimentos congelados y refrigerados” ya que las cualidades físicas de los productos transportados se asemejan al portafolio de Alimentos José A Ltda. Los proyectos “diseño del sistema logístico de la cadena de abastecimiento del desperdicio y desecho del vidrio en Colombia para exportar a Chile” y “análisis y evaluación del modelo logístico de distribución en la empresa Wyeth consumer Health Care” proporcionaron un punto de partida para realizar un análisis de rutas eficiente, disminución de costos logísticos y tiempos óptimos de procesamiento. El proyecto “Necesidades logísticas en la capacitación y asesoría del sector manufactura en Bogotá” permitió establecer una adecuada administración en la cadena de suministro con el propósito de mantener una fuerte participación en el mercado.

1.6 MARCO TEÓRICO

1.6.1 RuteoEl problema de ruteo de vehículos consiste en un número determinado de vehículos con capacidad limitada que debe servir un conjunto establecido de consumidores con ciertas demandas y satisfacer un número finito de restricciones. El objetivo es definir la secuencia de visitas para minimizar los costos, distancias o tiempos, la forma de resolver un problema depende de su naturaleza y de la magnitud de recursos disponibles para solucionarlo. Todos los problemas de programación y diseño de rutas de vehículos parecen requerir su propia valoración especial para encontrarles una solución, incluso así los métodos resultantes tal vez no manejen todo el problema.⁷ En la figura 3 se enuncian los factores para determinar un servicio de transporte que cumpla con las necesidades de la empresa y el cliente

⁷ RONALD H, Ballou. Logística y administración de la cadena de suministro. México. Pearson educación, 2004.

Figura 3. Los factores claves para elegir un servicio de transporte



Fuente: Logística y administración de la cadena de suministro. 2004

1.6.2 Importancia de un sistema de ruteo. La selección de una modalidad de transporte se puede usar para crear una ventaja competitiva de servicio; cuando un comerciante en un canal de abastecimiento compra bienes de más de un proveedor, el servicio logístico ofrecido así como el precio, influyen en la selección del distribuidor; si el producto no está disponible el cliente cambiará de proveedor, seleccionando un sistema de transporte de mejor calidad. La utilidad puede favorecer el costo asociado a un servicio de primera calidad y animar al proveedor a buscar el servicio que le solicita el comprador; algunas de las dificultades que se identifican en el sector de transporte pueden resumirse en: Altos costos logísticos debido al deterioro de la infraestructura vial, inseguridad y aranceles que afectan la productividad y la competitividad del país evidenciada en el índice de desempeño logístico (LPI) del World Bank (2010), donde Colombia ocupa el puesto 71 de una muestra de más de 200 países, ubicándose por debajo del promedio de Sudamérica.⁸

La cooperación entre el proveedor y el comprador es animada si hay conocimiento razonable del costo de cada parte, si un proveedor tiene que suministrar un servicio de transporte de mayor calidad que la competencia, podría elevar el precio, dado que los costos de transporte normalmente se hallan entre un tercio y dos tercios de los costos logísticos totales, mejorar la eficiencia mediante la máxima utilización del equipo de transporte y de su personal es una preocupación importante; el tiempo durante el cual los artículos están en tránsito refleja el número de envíos que pueden hacerse con

⁸ Índices de desempeño. [internethttp://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.CUST.XQ](http://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.CUST.XQ)

un vehículo en un período dado, así como los costos totales de trasportación para todos los envíos.⁹

Estrategia corporativa: Adoptar un sistema de distribución eficiente es una estrategia corporativa donde se relacionan mutuamente partes internas como estrategias, tecnologías, finanzas y externas como proveedores y clientes de la compañía. Al integrar una serie de actores, la logística como proceso debe articular proveedores, operadores, empresas de transporte entre otros, analizando la capacidad de manejo logístico para ubicar a la PYME y definir una ruta de mejoramiento. Utilizando indicadores se puede realizar el análisis de la situación de la empresa en cuanto a la gestión de distribución. Estos sirven para establecer el estado de desarrollo de la PYME en cada uno de los componentes logísticos a saber:¹⁰

1.7 MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN Y DISEÑO DE RUTAS.

a. Principios para una óptima programación y diseño de rutas.¹¹

- Cargar los camiones con volúmenes de parada que estén lo más cercanos unos de otros: Esto minimiza el tiempo total del viaje en la ruta.
- Construir rutas comenzando con la parada más lejana del depósito: Puede desarrollarse rutas eficientes mediante la construcción de agrupaciones de paradas alrededor de la más lejana del depósito y luego trabajando de regreso hacia el almacén.
- La secuencia de paradas en una ruta debería formar una figura de lágrima: Las paradas deberían continuarse de tal manera que ningún camino de la ruta se cruce y la ruta parezca tener la forma de una lágrima.
- Las rutas más eficientes se construyen usando los vehículos más grandes disponibles: Idealmente, usar un vehículo lo suficientemente amplio como para manejar todas las paradas en una ruta minimizara la distancia total, o el tiempo utilizado.
- Las recolección deberían mezclarse dentro de las rutas de reparto, no debe ser asignadas al final: Las recolecciones deben ser realizadas durante el transcurso de los repartos, para minimizar la cantidad de caminos que se cruzan, lo que puede ocurrir cuando se atienden dichas pausas después de hacer todos los repartos.
- Una parada que se halla a gran distancia de una agrupación de rutas es buen candidato para un medio alternativo de reparto: Las paradas que están aisladas de las agrupaciones de las paradas, especialmente aquéllas con

⁹ CIPOLETA GEORGINA, Tomassia. Políticas integradas de infraestructura, transporte y logística: Propuestas internacionales y propuestas iniciales. Santiago de Chile, CEPAL Naciones Unidas (2010).

¹⁰ CONCEPCIÓN MAROTO Álvarez. Investigación operativa, modelos y técnicas de optimización. Valencia. Editorial de la UPV, 2002

¹¹ Ibíd. 7

bajos volúmenes, son atendidas a costa de gran tiempo de conducción y gastos del vehículo.

b. Método de barrido: El método “de barrido” para el diseño de rutas de vehículos es sencillo como para realizar cálculos manuales, incluso en problemas de gran tamaño. Cuando se programa en el software de la computadora, este método resuelve los problemas rápido, sin requerir enormes cantidades de memoria. Para cierto tipo de problemas, la precisión se proyecta para producir una tasa de error promedio de aproximadamente 10%. Los despachadores a menudo enfrentan la necesidad de generar patrones de diseño de rutas una hora después de recibir los datos finales sobre las paradas que tienen que hacer y sobre sus volúmenes, la desventaja del método tiene que ver con la manera en la que se forman las rutas. El proceso tiene dos etapas: Primero, las paradas se asignan a los vehículos, luego se determina la secuencia de las paradas dentro de las rutas. Dado este proceso de dos etapas, el tema de sincronización, como el tiempo total empleado en una ruta y el permiso de momento oportuno, no están bien manejados.¹²

El método “de barrido” tiene la posibilidad de dar soluciones óptimas cuando:

- 1) Cada volumen de parada es una pequeña fracción de la capacidad del vehículo.
- 2) Todos los vehículos tienen el mismo tamaño.
- 3) No hay restricciones de tiempo en las rutas.

c. Método de ahorros, puede manejar varias restricciones prácticas, principalmente porque es capaz de formar rutas y ordenar paradas simultáneamente, el objetivo del método de ahorros es minimizar la distancia total viajada por todos los vehículos y minimizar indirectamente el número de vehículos necesarios para atender todas las paradas. La lógica del método es empezar con un vehículo simulado que cubre cada parada y que regresa al depósito.¹³

1.8 HERRAMIENTAS PARA SOLUCIONAR MODELOS DE ABASTECIMIENTO.

Algunos métodos adaptativos para resolver problemas de búsqueda y optimización son: La ruta más corta, algoritmo colonia de hormigas, problema

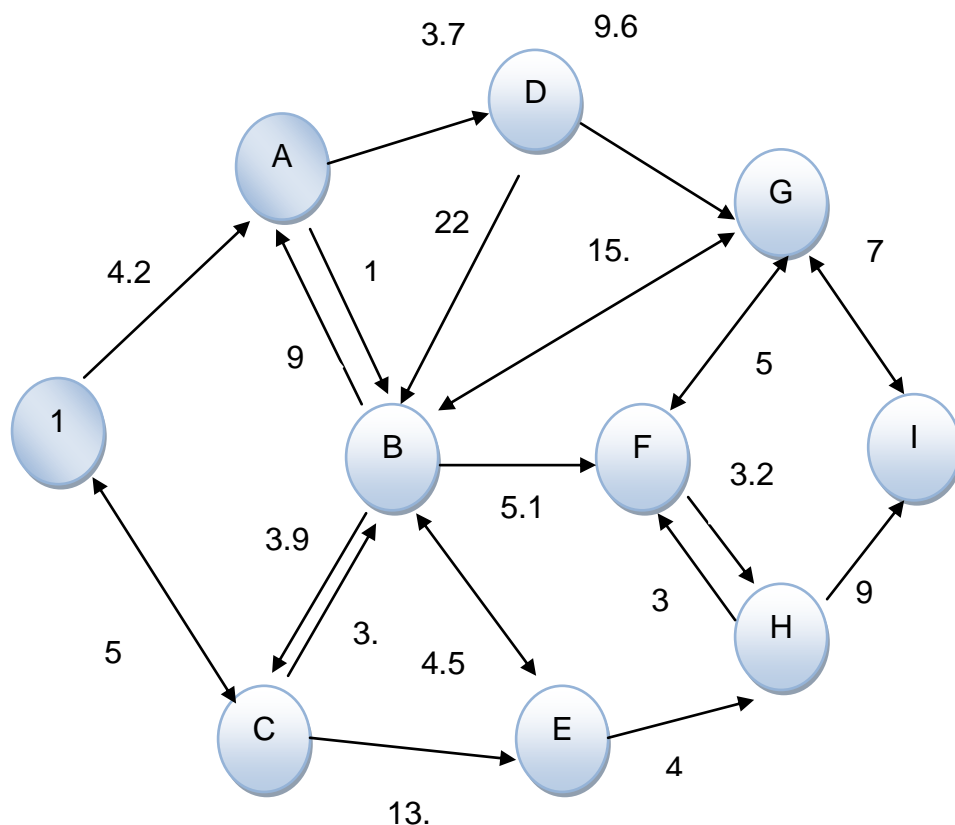
¹² Ibíd. 5

¹³ PERES URIBE, Rafael Ignacio. Modelo de modernización para la gestión de organizaciones. Bogotá. Universidad EAN. Vicerrectora de investigación, 2009

del agente viajero, algoritmo genético, programación lineal, programación entera.

a. La ruta más corta: El modelo de la ruta más corta se refiere a una red en la cual cada arco (i, j) tiene el número C_{ij} el cual se interpreta como la distancia (O costo o el tiempo) desde el nodo i hasta el nodo j . Una ruta o camino entre dos nodos es cualquier secuencia de arcos conecte. El objetivo consiste en encontrar las rutas más cortas (O de menor costo o más, desde un nodo específico hasta cada uno de los nodos de red). Por ejemplo, Pedro envía con frecuencia remesas de vino a nueve ciudades diferentes, esto significa que en cada arco se permite el flujo en cualquier dirección. Es posible asignar una orientación a los arcos entre los nodos, por lo cual el costo nodo de A a B es diferente que el costo de B a A. Esto podría ocurrir cuando el tráfico está en hora pico en una dirección, pero no en la otra; o cuando el tráfico puede avanzar de A a B pero no de B al A (Figura 4). El punto de partida principal se designa con el numero 1. Se considera que el costo total se minimizará asegurando que todos los viajes a cualquiera de las localidades se realicen siguiendo la ruta más corta.¹⁴

Figura 4. Diagrama ruta más corta



Fuente: Adaptado de Introducción a la programación lineal. 2011

¹⁴ HERNÁNDEZ CARDUÑA, José. Investigación de operaciones en la cadena administrativa. México. Partinzel hall, 2000

b. Problema del agente viajero

El problema del agente viajero o TSP como se le conoce en la literatura, consiste en un agente de ventas que tiene que visitar n ciudades, comenzando y terminando en el mismo punto, visitando solamente una vez cada destino y haciendo el recorrido a un costo mínimo, este costo puede estar expresado en términos de tiempo o distancia, es decir llevar a cabo un tour en el menor tiempo posible o realizar la menor distancia. El problema del agente viajero se puede modelar fácilmente mediante un grafo completo dirigido en donde los vértices son las ciudades y los arcos con los caminos, dichos arcos deben tener un peso, y este peso representa la distancia que hay entre dos vértices que están conectados por medio de dicho arco. Una solución del problema del agente viajero, se puede representar como una secuencia $n + 1$ ciudades, en donde un tour comienza y termina con la misma ciudad ¹⁵

Sea $G = (V, E)$ donde $V = \{1, 2, 3 \dots n\}$ y $E = \{(i, j) : i, j \in V\}$, Un grafo y sea C_{ij} el costo asociado al arco (i, j) el problema del agente viajero se puede formular de la siguiente manera

Fórmula 1. Problema del agente viajero

$$\begin{aligned} & \text{Min } \sum C_{ij} X_{ij} \\ & \text{s. a } \sum_{\{(i,j) \in E\}} X_{ij} = 1 \quad \forall i \\ & \sum_{\{(i,j) \in E\}} X_{ij} = 1 \quad \forall j \\ & \sum_{\{(i,j) \in E, i \in S, j \in S\}} X_{ij} \leq |S| - 1 \quad \text{para } S \subset V, 2 \leq |S| \leq |V| - 2 \end{aligned}$$

Fuente: Métodos cuantitativos. 2001

c. Algoritmo colonia de hormigas

El sistema de colonia de hormigas (Ant Colony System-ACS) (Dorigo and Di Caro, 1991) está inspirado en un experimento realizado por Goss en 1989 usando una colonia de hormigas. En dicho experimento, el nido era separado de una fuente de comida mediante dos caminos de diferente longitud, observándose que en poco tiempo la mayoría de las hormigas elegían el camino más corto para alcanzar la comida. Este fenómeno fue explicado por el hecho de que las hormigas dejaban feromonas en los caminos y seleccionaban el camino con mas concentración, que era el más corto por permitir ir y volver más rápido, la implementación de un algoritmo ACS requiere definir factores como la representación del problema mediante un grafo, la función del costo

¹⁵ VICENS SALORT, Eduardo. Métodos cuantitativos volumen 3, Universidad Politécnica de Valencia, 2001

(Evaluación de la inclusión o no de un nodo) y la actualización de las feromonas.¹⁶

Se considera un conjunto de n ciudades que deben ser visitadas por m hormigas del sistema, para satisfacer la restricción de visitar todas las ciudades una sola vez, se asocia a cada hormiga k una pequeña estructura de datos llamada lista tabú, (Tabuk), que guarda información relativa de las ciudades ya visitadas, una vez que todas las ciudades hayan sido recorridas, el trayecto o tour es completado volviendo a la ciudad origen. La lista tabú se vacía y nuevamente la hormiga está libre para iniciar un nuevo tour, independientemente del estado en que se encuentren las demás hormigas del sistema, lo que sugiere un alto grado de paralelismo asíncrono. En este contexto, se define como *tabuk* (n) al elemento $n - \text{esimo}$ de la lista tabú de la *hormiga* k como $J_k(i)$ al conjunto de ciudades que aun no visitó la hormiga k ubicada en la ciudad i , dado el conjunto de n ciudades, se denomina d_{ij} a la longitud del camino entre las ciudades i, j .¹⁷

Por su parte, se denota como $\tau = \{\tau(i, j)\}$ a la matriz de feromonas a ser utilizada para consolidar la información recogida por las hormigas. Es decir, $\tau(i, j)$ representa la cantidad de feromona que se va almacenando entre cada par de ciudades (i, j) . Se inicia con un valor τ_0 definido como:

Fórmula 2. Matriz de feromonas

$$\tau_0 = (n * L_{nn})^{-1}$$

Fuente: Lever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes. 2011

Donde L_{nn} es a la longitud de un tour *típico*, obtenido inicialmente por pruebas aleatorias y que puede tratarse simplemente de una mala aproximación a la longitud óptima.

La intensidad de las feromonas del arco (i, j) , denotada $\tau(i, j)$, es actualizada localmente mientras las hormigas construyen su tour, esto es, al moverse de la ciudad i a la ciudad j , cada hormiga deposita una cantidad de feromonas en el arco correspondiente, calculado conforme:

Fórmula 3. Intensidad de feromonas

$$\tau(i, j) = (1 - \rho) * \tau(i, j) + \rho * \tau$$

Fuente: Lever algorithms: Nature-inspired programming recipes. 2011

$0 < \rho < 1$, es un parámetro que puede entenderse como la evaporación de las feromonas de τ , se procede a una actualización global de τ según la cual se realiza cuando todas las hormigas de una colonia terminaron su tour y se puede establecer la mejor solución del ciclo.

¹⁶ TUYA, Javier Técnicas cuantitativas para la gestión en la ingeniería del software. España. Netbiblo, 2007

¹⁷ BORWN LEE, Jason. Lever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes. Australia. Copyright, 2011

Fórmula 4. Evaporación de feromonas

$$\tau(i, j) = (1 - \alpha) * \tau(i, j) + \alpha * \Delta\tau(i, j)$$

Fuente: Lever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes. 2011

Con $k \in \{1, 2, \dots, c\}$ en el caso de realizar una actualización basada en un solo objetivo, se calcula:

Fórmula 5. Incremento de feromonas

$$\Delta\tau = \frac{1}{\sum_{k=1}^c f_k(\vec{x})}$$

Fuente: Técnicas cuantitativas para la gestión en la ingeniería del software. 2007

Donde por motivos de normalización los valores f_k son divididos por un valor máximo definido a priori. La hormiga que completó una solución debe actualizar el conjunto pareto CP .

α es el coeficiente de evaporación de las feromonas, que determina el grado de influencia de una buena solución en la actualización de la matriz de Feromonas, mientras que la cantidad de feromona depositada en un arco (i, j) , está dada por:

Fórmula 6. Matriz feromonas

$$\Delta\tau(i, j) = \begin{cases} (L_{gb})^{-1} \\ 0 \end{cases} \text{ Si } (i, j) \in \text{el mejor tour}$$

Fuente: Técnicas cuantitativas para la gestión en la ingeniería del software. 2007

Donde L_{gb} es la longitud del mejor tour, hallado desde el inicio; durante la ejecución del algoritmo *Ant Colony System*, una *hormiga* ubicada en la ciudad i debe elegir la próxima ciudad j a visitar, para lo cual elige de entre las ciudades n_0 visitadas, con una probabilidad q_0 la ciudad con mayor cantidad de feromonas en τ .

Fórmula 7. Distancia menor colonia de hormigas

$$p_{ij} = \left\{ \frac{\tau_{ij}^\alpha * \eta_{ij}^\beta}{\sum_{k=1}^c \tau_{ik}^\alpha * \eta_{ik}^\beta} \right\} \text{ Si } j \in J_i$$

Fuente: Lever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes. 2011

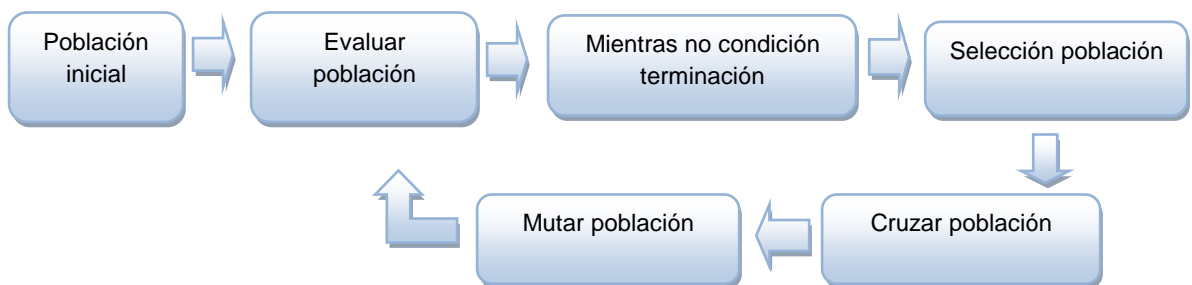
Donde β es un parámetro que determina la importancia relativa de las feromonas respecto a la distancia ($\beta > 0$). η es el aporte máximo de la puntuación total de la selección de los componentes (Tales como $\frac{1.0}{disntacia_{ij}}$ para el problema del viajante de comercio.) y c es el conjunto de componentes útiles.

d. Algoritmo genético. En la década de los años 60 la rápida proliferación de las computadoras dio lugar a su utilización como herramientas de simulación por parte de la comunidad científica. A principios de los años 70, un grupo de

investigadores de la universidad de Michigan, propuso los algoritmos genéticos como programas de computadora que imitaban el proceso evolutivo natural y que se comportan de forma robusta ante un entorno variable e incierto.

Los algoritmos genéticos (AG) pueden usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización, están basados en el proceso genéticos de los organismos vivos, las poblaciones evolucionan en la naturaleza de acuerdo con los principios de la selección natural y la supervivencia de los más fuertes, postulados por Darwin (1859). Por imitación de este proceso, los algoritmos genéticos son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real. Trabajan con una población de individuos, cada uno de los cuales representa una solución factible a un problema dado, a cada individuo se le asigna un valor ó puntuación, en la naturaleza esto equivaldría al grado de efectividad de un organismo para competir por unos determinados recursos. Cuanto mayor sea la adaptación de un individuo al problema, mayor será la Probabilidad de que el mismo sea seleccionado para reproducirse, cruzando su material genético con otro individuo seleccionado de igual forma, cuanto menor sea la adaptación, menor será la probabilidad de que dicho individuo sea seleccionado para la reproducción, y por tanto de que su material genético se propague en sucesivas generaciones¹⁸

Figura 5. Diagrama procedimiento general de un algoritmo genético



Fuente: Computational intelligence in manufacturing handbook. 2001

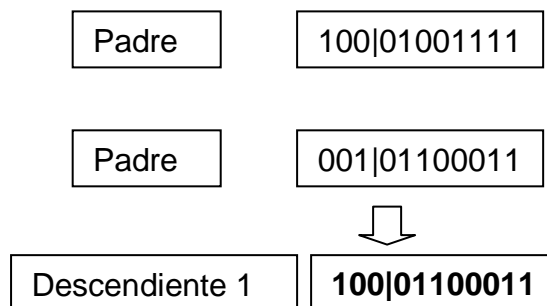
Pasos de un algoritmo genético¹⁹: Evaluación y selección: El objetivo del procedimiento de selección es transmitir genes cuyos valores son los más altos, manteniendo la diversidad de la población para llegar a la solución global óptima, durante la evaluación se decodifica el gen para convertirlo en parámetros del problema, y se le da una puntuación en función de lo cerca que esté de la mejor solución, a esta puntuación se le llama *fitness*.

¹⁸Ibíd. 10

¹⁹WANG JUN & KUSIAK, Andrew. Computational intelligence in manufacturing handbook. U.S.A. CRC PRESS LLC, 2001

Crossover “cruce”: Consiste en el intercambio de material genético entre dos cromosomas, el *crossover* es el principal operador ya que sin este no sería un algoritmo genético, para aplicar el entrecruzamiento o recombinación, se escogen aleatoriamente dos miembros de la población. No pasa nada si se emparejan dos descendientes de los mismos padres; esto garantiza la perpetuación de un individuo con buena puntuación (Por ejemplo la cría de ganado). Sin embargo si esto ocurre a menudo, puede crear problemas: Toda la población puede estar dominada por los descendientes de algún gen presentando características no deseadas.

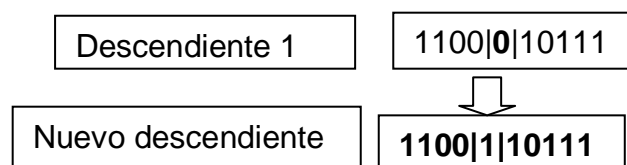
Figura 6. Crossover



Fuente: Computational intelligence in manufacturing handbook. 2001

Mutación: Todos los individuos de la población son revisados de forma aleatoria de acuerdo a su puntuación, a diferencia de crossover, esta es una operación monódica, es decir, una serie descendiente se produce a partir de una cadena de un solo progenitor, en la evolución, una mutación es un suceso poco común, ocurre aproximadamente una de cada mil replicaciones. En la mayoría de los casos las mutaciones son letales, pero en promedio, contribuyen a la diversidad genética de la especie. En un algoritmo genético tendrán el mismo papel, y la misma frecuencia (Es decir, muy baja). No es conveniente abusar de la mutación, es cierto que es un mecanismo generador de diversidad, y por tanto, la solución cuando un algoritmo genético está estancado, pero también es cierto que se reduce a una búsqueda aleatoria. Siempre es más conveniente usar otros mecanismos generadores de diversidad, como aumentar el tamaño de la población.

Figura 7. Mutación



Fuente: Computational intelligence in manufacturing handbook. 2001

e.Programación lineal: Los modelos de programación lineal pretenden la optimización (Maximización o minimización) de una función lineal con variables

Fórmula 9. Programación binaria

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{si la decisión } j \text{ es si} \\ 0 & \text{si la decisión } j \text{ es no} \end{cases}$$

Las x_j son variables de decisión restringidas a tomar valores 0, 1.

Fuente: Métodos cuantitativos de organización industrial I. 2004

Tabla 3. Indicadores de logística

Indicador	Descripción	Fórmula	Impacto
Calidad de los pedidos generados	Número y porcentaje de pedidos generados sin retraso, o sin necesidad de información adicional.	(Pedidos generados sin problemas x 100) / total de pedidos generados	Cortes de los problemas inherentes a la generación errática de pedidos, como: Costo del lanzamiento de pedidos rectificadores, esfuerzo del personal de compras para identificar y resolver problemas, incremento del costo de mantenimiento de inventarios y pérdida de ventas, entre otros.
Entregas perfectamente recibidas	Número y porcentaje de pedidos que no cumplen las especificaciones de calidad y servicio definidas, con desglose definidas por el cliente	(Pedidos rechazados x 100) / Total pedidos generados	Costos de recibir pedidos sin cumplir las especificaciones de calidad y servicio, como: Costo de retorno y de volver a realizar pedidos, retrasos en la producción, coste de inspecciones adicionales de calidad, etc.
Nivel de cumplimiento.	Consiste en calcular el nivel de efectividad en las entregas de mercancía	(Pedidos recibidos fuera de tiempo x 100) / Total pedidos generados	Identifica el nivel de efectividad de los proveedores de la empresa y que están afectando el nivel de recepción oportuna de mercancía en la bodega de almacenamiento, así como su disponibilidad para despachar a los clientes
Comparativo del transporte (Rentabilidad Vs Gasto)	Medir el costo unitario de transportar una unidad respecto al ofrecido por los transportadores del medio.	Costo transporte propio por unidad / costo de contratar transporte por unidad	Sirve para tomar la decisión acerca de contratar el transporte de mercancías o asumir la distribución directa del mismo.
Nivel de utilización de los camiones	Consiste en determinar la capacidad real de los camiones respecto a su capacidad	Capacidad real utilizada / capacidad real camión	Sirve para conocer el nivel de utilización real de los camiones y así determinar la necesidad de optimizar la capacidad instalada y/o evaluar la necesidad de contratar transporte contratado

	instalada en volumen y peso		
--	--------------------------------	--	--

Fuente: La logística en Europa una nueva estrategia-cliente 2006

Una vez realizada la evaluación de la situación de la empresa en cuanto al componente y las variables de logística, (Tipo de carga, requisitos de los clientes, empaques, embalajes, contenedores especiales, normas de cada país) hacen que el empresario, gerente o el consultor pueda identificar fortalezas y debilidades planteando las posibles rutas de cambio o el plan maestro logístico.²²

Plan maestro logístico. Es necesario establecer un itinerario en el plan maestro logístico donde se definirán actividades que permitirán alcanzar los objetivos de las distintas áreas de la compañía y un plan de recursos de distribución que permitirá proveer las necesidades y características de los centros de distribución, capacidad y tipo de vehículos, modalidades de contratación, designación de rutas y horarios.²³

En resumen un plan maestro de logística pretende menores plazos de gestión de pedidos, mayor cobertura en la distribución, mayor rotación de inventarios, optimización del transporte y aumentar la relación empresa-cliente. Un producto o servicio tiene poco valor si no está disponible para los clientes en el momento y el lugar en que desean consumirlo, cuando una empresa incurre en el costo de mover el producto hacia el consumidor de manera oportuna ha creado un valor para el cliente que antes no tenía, es un valor tan indudable como lo es el creado mediante la fabricación de un producto de calidad o mediante un bajo precio. Por lo general se reconoce que un negocio crea cuatro tipos de valor en los productos o en los bienes: Forma, tiempo, lugar y posesión.²⁴ Por medio de la logística se pueden adquirir dos de esos cuatro valores como lo son el tiempo y el lugar, principalmente a través del sistema de distribución y abastecimiento. El transporte es un aspecto básico de la cadena de suministro encargada de llevar la carga a su destino por medio de una red de distribución propia de la empresa, aportando ventajas financieras al reducir costos y competitivas al suplir la demanda.

a. Decisiones sobre el transporte:

- Tipo de carga: Existe una gran diversidad de productos susceptibles a ser transportados y comercializados; para garantizar un manejo adecuado, la carga ha tenido que clasificarse.

²² Ibid. 19

²³ Ibid. 9

²⁴ Ibid. 20

- Carga General: Es aquella que se presenta en estado sólido, líquido o gaseoso, y que estando embalada o sin embalar, puede ser tratada como unidad.
- Carga perecedera: La carga perecedera son aquellos productos que sufren una degradación normal en sus características físicas, químicas y biológicas como resultado del tiempo y las condiciones del medio ambiente.²⁵

b. Clasificación de la carga perecedera

- Carga refrigerada y fresca: En esta clasificación es importante conservar la cadena de frío, ya que esto hace que se mantenga el producto fresco desde su cosecha hasta la llegada a su destino final.
- Carga congelada: El congelamiento de la carga es una forma muy generalizada de preservar en buenas condiciones los alimentos y los productos que se transportan con regularidad por medio del transporte de frigoríficos.
- Carga a temperatura ambiente: Se debe tener en cuenta que algunos productos requieren de ciertos cuidados para que se conserve en la temperatura del lugar de destino, ya sea a altas o bajas temperaturas.²⁶

1.10 MARCO CONCEPTUAL

Para el desarrollo del sistema de ruteo en alimentos José LTDA. Se presentan a continuación algunos términos claves para el entendimiento del proyecto.

Algoritmo colonia de hormigas: Modelo inspirado en los recorridos realizados por hormigas de una colonia, el nido era separado de una fuente de comida mediante dos caminos de diferente longitud, observándose que en poco tiempo la mayoría de las hormigas elegían el camino más corto para alcanzar la comida.²⁷

Almacenamiento: Es un proceso que implica el diseño de bodegas, direcciones de ubicación, espacios de movilización, clasificación, frecuencias y niveles máximos de los inventarios, equipos de manufactura, flujos de materiales, tecnologías de información, talento humano, sistemas de seguridad industrial, energía requerida, etc. Se realiza tanto para la materia prima como para el producto terminado está implícito en la gestión de inventarios.²⁸

²⁵ Grupo FIDALEX S.A. Carga Perecedera. Internet. http://www.cargainfo.com/front_content.php?idcat=1231&idart=2740

²⁶ Ibid. 20

²⁷ TUYA, Javier. Técnicas cuantitativas para la gestión en la ingeniería del software. España. Netbiblo, 2007

²⁸ RICARDO DE NAVASCUES, Jordi Pau. Manual de logística integral. España. Díaz de Santos S.A. 2005.

Aprovisionamiento: Es el conjunto de actividades que desarrollan las empresas para asegurarla disponibilidad de los bienes y servicios externos que le son necesarios para la realización de sus actividades.

Cadena de suministro: Movimiento de materiales, fondos, e información relacionada a través del proceso de la logística, desde la adquisición de materias primas a la entrega de productos terminados al usuario final. La cadena del suministro incluye a todos los vendedores, proveedores de servicio, clientes e intermediarios.²⁹

Cadena de valor: Una alianza voluntaria de compañías para crear un beneficio económico para clientes y compartir las ganancias.

Canales de Distribución: Los cauces de la venta apoyados por una empresa. Éstos pueden incluir ventas del menudeo, ventas de asociados de distribución (Por ejemplo, venta al mayoreo), ventas del fabricante de equipo original (el OEM Original Equipment Manufacturer), intercambio de Internet o ventas del mercado, y subastas de Internet.³⁰

Canales Logísticos: La red de cadenas de suministro participantes comprometidas en almacenamiento, manejo, traslado, transporte y funciones de comunicaciones que contribuyen al flujo eficaz de los bienes.

Ciclo de Tiempo: El tiempo que toma para un negocio recibir, surtir y entregar una orden a un cliente. Alguna vez sólo medido en días, muchas industrias miden ahora el ciclo de tiempo en horas.

Ciclos de gestión logística: El primer ciclo es el plan de ventas, el segundo ciclo es la planeación de materiales, la gestión de inventario y almacenamiento de materia prima, el plan de compras y la colocación de pedidos al proveedor, y el tercer ciclo tiene como eje el plan de ventas y propiamente la ejecución del mismo.

Costo: En general, medida de aquello a lo que debe renunciarse para obtener algo, ya sea comparándolo, intercambiándolo, o produciéndolo, los economistas utilizan normalmente el concepto de coste de oportunidad, que mide los costes como el valor de todas las cosas a las que se debe renunciar para obtener alguna otra.³¹

Dirección de la cadena de suministro (SCM, Supply Chain Management): La dirección y mando de todos los materiales, fondos e información relacionada en el proceso de la logística desde la adquisición de materias primas a la entrega de productos acabados al usuario final.

²⁹ MUÑOZ ZULUAGA. Rubén Darío. Diccionario de logística y negocios internacionales. Bogotá, Eco ediciones. 2005

³⁰ Ibíd. 28

³¹ PARCE W, David. Diccionario Akal de economía moderna España. Mc Millian Press Ltda. 1999.

Distribución: Es el proceso que permite poner en un sitio de destino previsto un producto y un servicio.³²

Estocástico: Es una familia $(x_t)_{t \in T}$ de variables aleatorias, siendo T cualquier conjunto de índices. Sin embargo, lo más común es que se trate del conjunto N de los números naturales. En cuyo caso el proceso estocástico es discreto, estando constituido por una sección X_1, X_2, X_3, \dots de variables aleatorias, o de un intervalo de la recta real R (Proceso estocástico continuo).³³

Flujo a través de la distribución: Un proceso en que se traen productos de las múltiples locaciones hacia una facilidad central (A veces llamado Cross-Dock), re-surtido para entrega a su destino y envió en el mismo día. Esto elimina almacenaje, reduce niveles de inventario y agiliza el ciclo de tiempo de una orden.³⁴

Inventarios: Es una provisión de materiales o piezas que tiene por objeto facilitar la producción o satisfacer la demanda de los clientes

Logística: Es un conjunto amplio de actividades relacionadas con el movimiento y almacenamiento de materiales, productos e información, es la disciplina que estudia, administra y gestiona integralmente, las actividades de apoyo a una estrategia organizacional, centrada en los procesos de abastecimiento, traslado, almacenamiento, conservación, y distribución de materiales, productos e información y distribución materiales, productos e información, efectiva y económicamente, siguiendo reglas, políticas y desarrollo del objetivo corporativo.³⁵

Nodo: Punto de intersección o unión de varios elementos que confluyen en el mismo lugar.

Plan estratégico logístico: Es el proceso en el cual los estrategas de logística obtienen información interna y externa para medir competitividad del manejo logístico de una empresa.³⁶

Plan maestro de logística: Establece el itinerario, los recursos y las actividades que permiten alcanzar los objetivos de las distintas aéreas de la compañía, es aquí donde se halla la gran diferencia con respecto a los planes de otras unidades de la organización pues ellas persiguen sus propios objetivos.³⁷

Programación lineal: Una técnica para la formalización y el análisis de problemas de optimización con restricciones en los que la función objetiva es

³² PÉREZ URIBE, Rafael Ignacio. Modelo de modernización para la gestión de organizaciones. Bogotá. Universidad EAN. Vicerrectora de investigación, 2009

³³ CAUSO LOPEZ, Rafael. Programación lineal y decisiones económicas. Venezuela. Exlibris. 1993.

³⁴ MUÑOZ ZULUAGA. Rubén Darío. Diccionario de logística y negocios internacionales. Bogotá, Ecoe ediciones. 2005

³⁵ Ibíd. 31

³⁶ Ibíd. 35

³⁷ Ibíd. 36

una función lineal, que es maximizada o minimizada sujeta a un número de restricciones de desigualdad lineales.³⁸

Transporte: Medio de traslado de personas o bienes desde un lugar hasta otro. El transporte comercial moderno está al servicio del interés público e incluye todos los medios e infraestructuras implicadas en el movimiento de las personas o bienes, así como los servicios de recepción, entrega y manipulación de tales bienes.³⁹

Unidad de manejo: Bienes o agregación de bienes en conjunto para propósitos de distribución y logística. Puede incluir un artículo individual en un cartón, los artículos combinados en pallets, o artículos transferidos en contenedores independientemente identificados, como contenedores marítimos, vagones ferroviarios o remolques de camiones.⁴⁰

Valor agregado: Valor incrementado o mejorado, basado en su funcionalidad o utilidad.

³⁸ Ibíd. 33

³⁹ Ibíd. 34

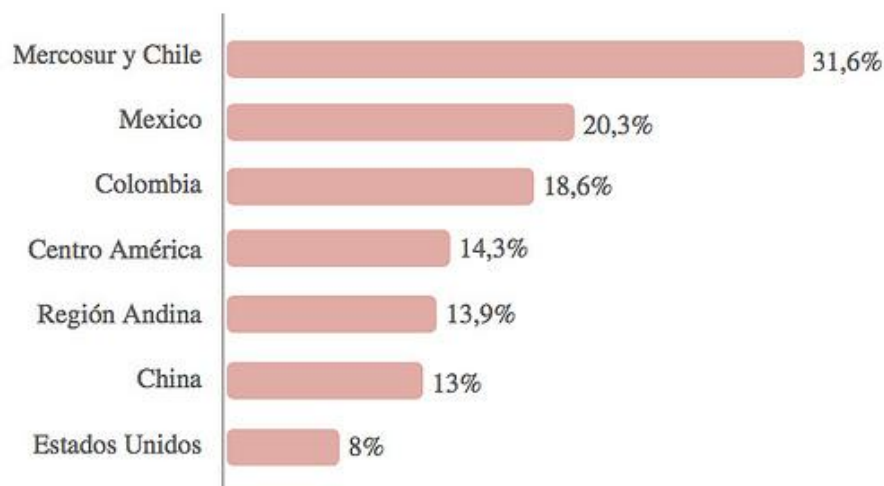
⁴⁰ Ibíd. 37

2 DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

Colombia en el 2010 ocupó el puesto 72 del Índice de Desempeño Logístico que elabora el Banco Mundial, 10 puestos por encima en comparación al 2007.⁴¹ La economía del país reclama nuevos sistemas de logística de transporte de carga, para mejorar la competitividad y es necesario entender que no basta con los proyectos de infraestructura vial programada y por programar. En la actualidad, Colombia presenta un gran rezago en el sistema logístico nacional, este rezago ha sido el principal causante de sobrecostos en el transporte de la carga para las industrias colombianas como se muestra en la figura 8. Javier Díaz, presidente de la Asociación Nacional de Exportadores, presentó un informe sobre los sobrecostos en el sistema de transporte; Díaz destacó cómo enviar una tonelada de carga desde Buenaventura hasta Los Ángeles en Estados Unidos, presentaba un costo promedio de 30 dólares mientras que el transporte de esta carga desde el mismo puerto hasta Bogotá tenía un costo promedio de 34 dólares.⁴²

Figura 8. Costo total de la logística por región/país



Fuente: Banco Mundial. 2012

La logística en Colombia presenta un gran atraso en la actualidad que limita la competitividad del sector productivo y exportador en nuestra nación. Ante esta

⁴¹<http://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.CUST.XQ/countries/1W?display=default>

⁴²<http://revistasupuestos.uniandes.edu.co/?p=64>

situación, el gobierno nacional, ha diseñado políticas que buscan superar los obstáculos identificados. Cabe resaltar que el mayor reto que se presenta en el corto y mediano plazo es avanzar en la elaboración de una agenda que permita Implementar dichas políticas y en la que participen los diferentes actores involucrados; para ello resulta fundamental analizar los factores de economía política y coyuntura económica que han impedido poner en marcha los principales aspectos definidos en la Política Nacional de Logística.

2.1.1 Movilidad en Bogotá D.C. La malla vial de Bogotá es la más grande que exista en ciudad alguna de Colombia, cuenta con más de 15.000 kilómetros-carril, incluyendo las troncales del sistema de transporte masivo y cerca de 350 kilómetros de ciclo rutas. En ella confluyen diversos tipos de transporte particular, público y de carga (Transmilenio, buses, colectivos, taxis y hasta bicitaxis).⁴³ Las principales vías de Bogotá son de sur a norte: Las avenidas Cali, Boyacá, 68, 30, Caracas y Séptima; de oriente a occidente: Las avenidas 1° de Mayo o 22 sur, las Américas, Suba y las calles 13, 26, 63 y 80. A pesar de que muchas de estas vías han sido refaccionadas para la entrada del sistema Transmilenio son cada vez más insuficientes para atender la gran demanda de movilidad de la ciudad.⁴⁴ Según el Registro Distrital Automotor (RDA) en el 2010, por las vías de la capital circularon más de 1'277.418 carros particulares; 102.408 vehículos públicos, 13.100 automóviles oficiales y 1'800.000 motocicletas.

Se estima que en promedio anual a Bogotá entran 1'400.000 autos nuevos, lo que representa casi el 60% de los carros nuevos que circulan en el país, desde 2002 a la fecha, el parque automotor de la ciudad ha sufrido un incremento del 105%, cifra que si se compara con el aumento de kilómetros pavimentados o nuevas rutas, resulta irrisoria⁴⁵. En la actualidad y según cifras suministradas por la Secretaría de Movilidad, la malla vial de la ciudad viene creciendo en los últimos cinco años en 0,4% promedio anual, un ritmo terriblemente lento si se compara con el crecimiento anual del parque automotor, el cual llega a 11,43%. La tasa de vehículos de la ciudad es de un carro por cada seis habitantes, cifra similar a ciudades como Santiago de Chile, pero inferior a capitales como Buenos Aires y Caracas donde en promedio existe un auto por cada tres habitantes, y muy inferior si se compara con ciudades del primer mundo donde el número de vehículos es de uno por cada 1,5 habitantes.⁴⁶

La velocidad promedio en los desplazamientos que hoy se sitúa en 19,35 km/hora, no sólo no aumentó sino que disminuyó 15% con respecto a la

⁴³<http://danielpolania.wordpress.com/2012/03/01/a-bogota-ya-no-le-caben-mas-carros/>

⁴⁴<http://www.invias.gov.co/>

⁴⁵<http://www.revistadelogistica.com>

⁴⁶<http://www.transitobogota.gov.co/>

velocidad del 2007. Esta dramática disminución podría ser sustentada por los diferentes frentes de obra que durante la alcaldía de Samuel Moreno se abrieron en la ciudad, otro factor también es el vertiginoso aumento del parque Automotor, el cual tan sólo en el último año creció un 11%, pero no todo es malo, en 2011 se construyeron 14 puentes vehiculares, se amplió la malla vial arterial en 194 km/carril y 25 km en la malla vial intermedia; a pesar de esto, los avances siguen siendo insignificantes ante la gran demanda de la ciudad. A esto se le debe sumar que no está claro qué va a pasar con la carrera Séptima, pues no se sabe qué tipo de transporte masivo se implementará sobre su trazado.⁴⁷

Principales obras en la malla vial de Bogotá:

- Obras de mantenimiento en el puente vehicular de la calle 68 con avenida carrera 30.
- Cierre total de carrera 5 a la altura de la calle 26 para ampliación del puente vehicular
- Construcción de la conectante de la carrera 13 con la troncal de la carrera décima hacia el sur
- Cierre total de la calzada rápida norte de la calle 26 desde la carrera avenida rojas hasta la carrera 93
- Cierre de emergencia en la calle 134 con carrera novena
- Cierre total de la calzada sur rápida de la calle 26 a la altura de la av. ciudad de Cali y la av. Boyacá sentido occidente-oriente
- Obras de mantenimiento en los puentes vehiculares de la avenida de la esperanza por carrera 68
- Cierre de un carril sobre la avenida carrera 80 entre la carrera 70 d y la

2.1.2 Problemáticas. De todas las problemáticas que aquejan a una ciudad como Bogotá, uno de los puntos más trascendentes es la movilidad; según el estudio “Bogotá Cómo Vamos”, en 2011 el 51% de los ciudadanos aseguró que está gastando más tiempo para desplazarse de un lugar a otro (Frente al 49% del 2010). Al parecer, los anuncios sobre la implementación del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) y el debate sobre el Metro no han logrado cambiar la percepción de los bogotanos; según el mismo estudio, el 45% de los encuestados creen que las vías en general de Bogotá están en muy mal estado y el 27% se mostró inconforme con las vías de su barrio. Por otro lado, la encuesta señaló que el transporte público es el medio más utilizado Para movilizarse con el 71% de los bogotanos que lo emplean, mientras que el carro particular es utilizado por el 15% y la bicicleta y a pie, el 13%.⁴⁸

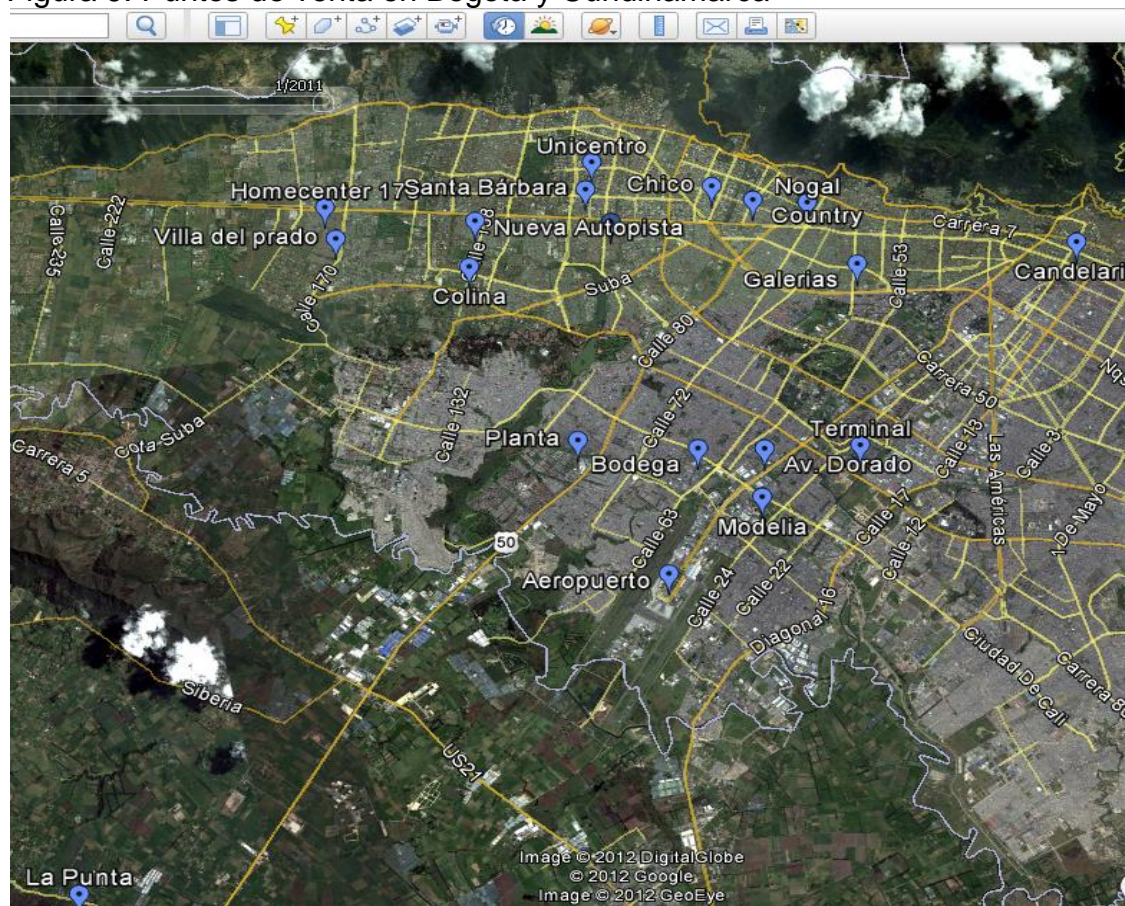
⁴⁷Ibíd. 44

⁴⁸Ibíd. 45

2.2 ANÁLISIS INTERNO

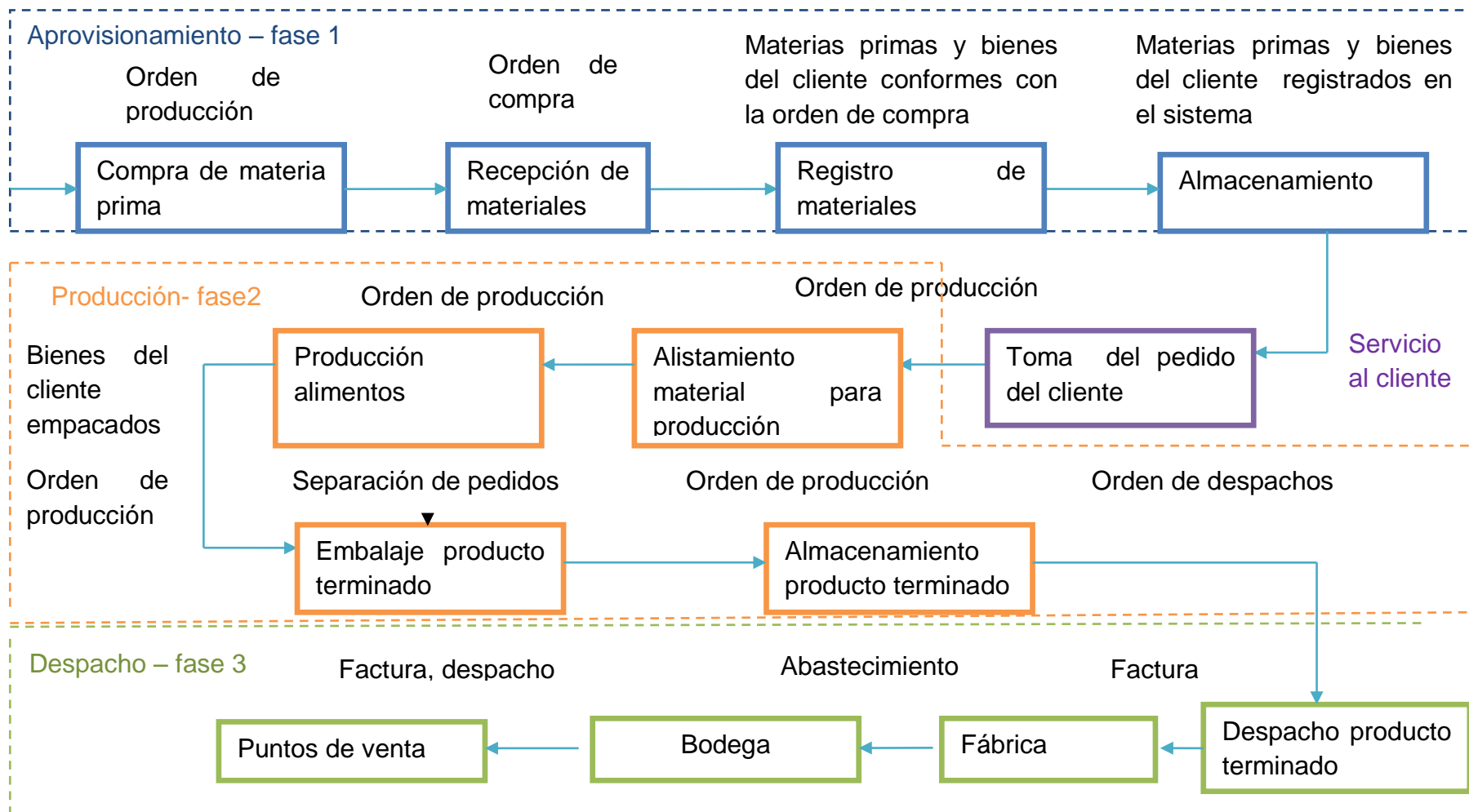
ALIMENTOS JOSÉ A LTDA es una empresa que inicio en 1972 en la carrera 11 con calle 73 de Bogotá D.C, produciendo y vendiendo obleas, convirtiendo este producto casero en la base de su éxito y desarrollando un amplio portafolio para satisfacer las exigencias de sus clientes, pan de bono, pan de yuca, almojábanas, buñuelos, pasteles de carne, pollo, arequipe, bocadillo, mantecada, masato, avena y kumis, son elaborados en su planta de producción situada en el barrio Florencia de Bogotá D.C; hoy tiene 40 puntos de venta en Bogotá, Medellín, Pereira, Barranquilla, Cali y Santa Marta. La empresa dispone de una camioneta furgón mazad B2000 gas / gasolina con capacidad de tres toneladas para realizar el abastecimiento de sus concesiones: Av. Dorado, Modelia, Candelaria, Galerías, Nogal, Chico, Country, Santa Bárbara, Unicentro, Alhambra, Colina, Nueva Autopista, Villa del Prado, HC 170, La Punta, Terminal de transporte y el Aeropuerto como se muestra en la figura 9. En algunos meses como junio, julio, noviembre, diciembre y enero la demanda aumenta un 50% aproximadamente por reuniones familiares, empresariales y eventos, lo que ocasiona que cada punto de venta este surtido antes del medio día para que se logre hornear, fritar y preparar los pedidos.

Figura 9. Puntos de venta en Bogotá y Cundinamarca



Fuente: Google Earth. 2012

Figura 10. Diagrama de bloques de la cadena de abastecimiento de alimentos José a Ltda.



Fuente: El autor. 2012

2.3 DESCRIPCIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO

La administración de la cadena de abastecimiento es la integración de procesos y funciones del proveedor inicial hasta el producto final, generando valor agregado en el transcurso de la misma, se evidencian tres procesos fundamentales dentro de la red logística utilizada por la empresa, aprovisionamiento, producción y despachos, como se detalla en la figura 10 diagrama de bloques de la cadena de abastecimiento de Alimentos José A Ltda.

Fase 1 aprovisionamiento. El inicio de la cadena de abastecimiento tiene su fundamento en el análisis de la demanda la cual se realiza en la planta de producción, se genera la orden de compra y se comunica al proveedor la cantidad y la fecha para la cual se necesita, cuando la materia prima llega a la fábrica se realiza un control de estándares de calidad, si cumple se almacena en la bodega y se registra en el sistema.

Fase 2 producción. La fase de producción inicia tomado los pedidos de los puntos de venta a diario a través de correo electrónico y teléfono; como los alimentos comercializados por la empresa tienen un ciclo de vida de 2 semanas en promedio no se tiene stock's altos de producto en proceso y terminado, presentando cualidades de producción tipo Pull. Después de tener las especificaciones del punto de venta se genera la remisión y la orden de producción, los operarios alistan la materia prima y verifican la calibración de cada máquina para iniciar la producción embalaje y registro de producto terminado, por último se genera la orden de despacho.

Fase 3 despacho. Después de tener la orden de despacho el producto terminado es trasladado a la bodega ubicada a 4 kilómetros de la fábrica para su almacenamiento y alistamiento. En la bodega se preparan los pedidos de los clientes, se factura y se procede a realizar el suministro. El abastecimiento realizado presenta dos rutas utilizadas con frecuencia:

Ruta 1. Inicia con los puntos de venta más cercanos a la bodega y termina con el más lejano, durante la caracterización de este recorrido en promedio tarda seis horas y siete minutos en completar el suministro, en la tabla 4 se detalla el kilometraje que se tomó con un tacómetro de un punto a otro y el tiempo.

Ruta 2. Inicia con el punto de venta más lejano (Punto de venta la punta), continúa con los más cercanos y termina con los más lejanos presentando variantes en todo su recorrido, al igual que el recorrido 1, el kilometraje se tomó con un tacómetro y tarda en promedio seis horas y diez minutos como se detalla en la tabla 5. En la figura 11 y 12 se aprecia el recorrido geográfico que presenta cada ruta.

Tabla 4. Descripción recorrido I

	Punto de venta	Dirección	Km	H:M
A	Bodega	Av carrera 86 No. 64-27		
B	Terminal	Diagonal 23 No. 69 - 55	5	18
C	Aeropuerto	Calle 26 No. 105-49	12	23
D	Av. Dorado	Av El dorado No. 73-80	10	14
E	Modelia	Calle 42 No. 77-12	8	13
F	Candelaria	Carrera 5 No. 12-8	4	37
G	Galerías	Calle 52 No. 23-32	13	21
H	Nogal	Carrera 11 No. 73-28	7	14
I	Chico	Carrera 15 No. 93-43	5	17
J	Country	Calle 84 No. 15-43	4	16
K	Santa Bárbara	Carrera 19 No. 122-49	5	15
L	Unicentro	Calle 122 No. 15-5	6	9
M	Alhambra	Calle 114A No. 47-33	2	15
N	Colina	Calle 138 No. 58-1	4	16
O	Nueva Autopista	Calle 142 No. 31 B-34	17	12
P	Villa Prado	Calle 171 No. 55-28	4	14
Q	HC 170	Carrera 45 No. 175 -50	6	12
R	La Punta	Autopista Medellín km 12	1	52
S	Bodega	Av.Carrera 86 No. 64-27	36	50
Total			149	6:07

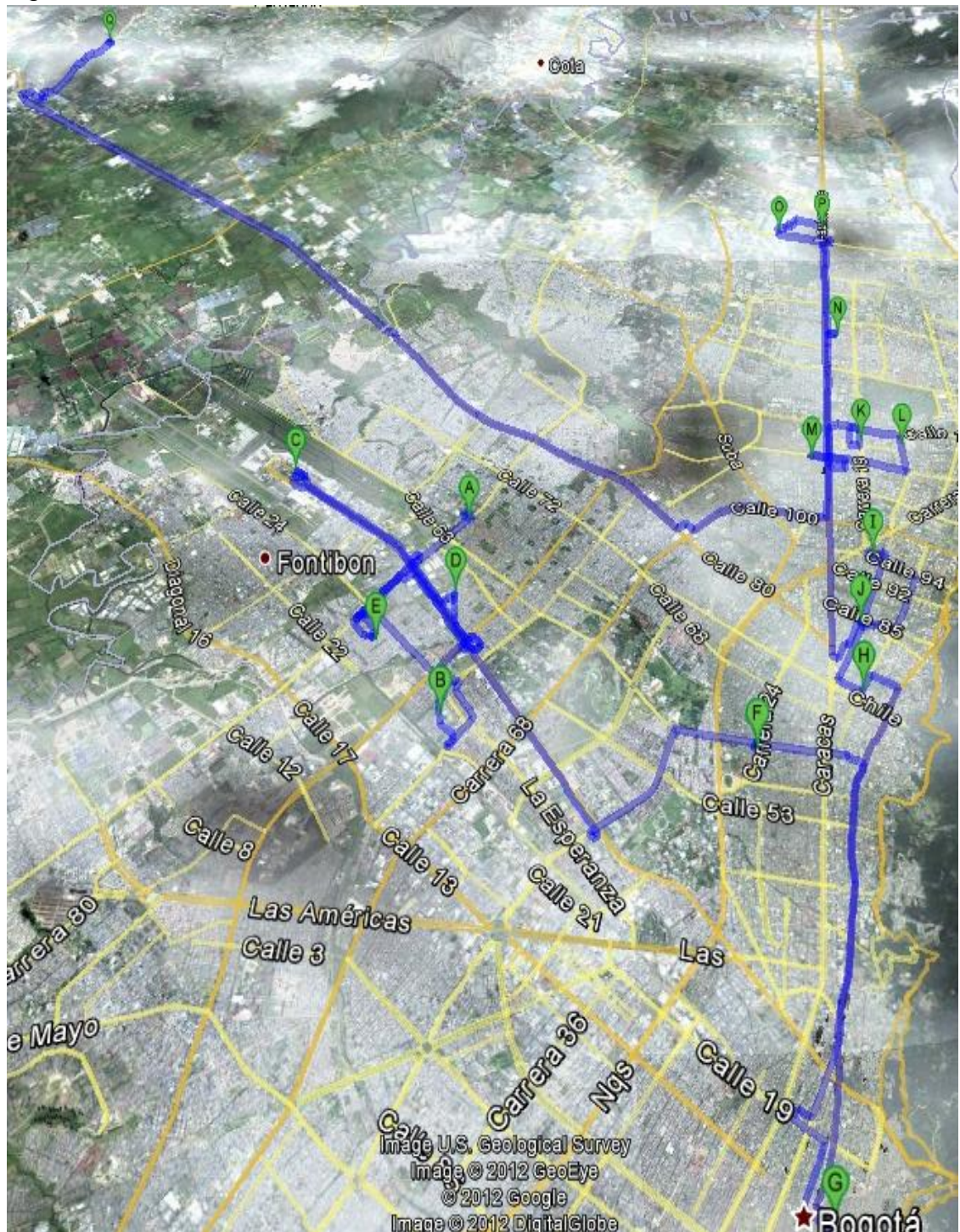
Fuente: El autor. 2012

Tabla 5. Descripción recorrido II

	Punto de venta	Dirección	Km	H:M
A	Bodega	Av carrera 86 No. 64-27		
B	La punta	Autopista Medellín km 12	26	51
C	Terminal	Diagonal 23 No. 69 - 55	28	53
D	Aeropuerto	Calle 26 No. 105-49	9	23
E	Av. Dorado	Av El dorado No. 73-80	7	14
F	Modelia	Calle 42 No. 77-12	4	13
G	Galerías	Calle 52 No. 23-32	11	26
H	Candelaria	Carrera 5 No. 12-8	8	28
I	Nogal	Carrera 11 No. 73-28	8	18
J	Chico	Carrera 15 No. 93-43	3	14
K	Country	Calle 84 No. 15-43	4	16
L	Unicentro	Calle 122 No. 15-5	6	18
M	Santa bárbara	Carrera 19 No. 122-49	2	7
N	Alhambra	Calle 114A No. 47-33	2	7
O	Nueva Autopista	Calle 142 No. 31 B-34	4	14
P	Colina	Calle 138 No. 58-1	5	16
Q	Villa del pardo	Calle 171 No. 55-28	5	14
R	HC 170	Carrera 45 No. 175 -50	2	7
S	Bodega	Av. Carrera 86 No. 64-27	16	31
total			150	6:10

Fuente: El autor. 2012

Figura 11. Ruta 1



Fuente: El autor. 2012

Figura 12. Ruta 2



Fuente: El autor. 2012

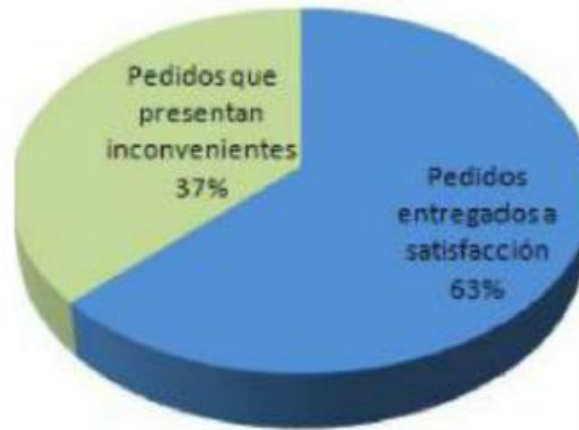
2.4 INDICADORES DEL SERVICIO

Para evaluar el nivel de servicio ofrecido por la empresa durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2011, enero y febrero de 2012 se utilizaron los siguientes indicadores:

Tabla 6. Hoja de vida indicador calidad de los pedidos generados

	Hoja de vida indicador		
Macro proceso			
Supply Chain			
Proceso			
Sistema de ruteo			
Fecha de creación del indicador		4	7
Nombre del indicador		2012	
Calidad de los pedidos generados			
Objetivo			
Determinar el porcentaje de pedidos entregados bajo las condiciones demandadas por el cliente.			
Fórmula			
$\frac{\text{Productos generados sin problemas} \times 100}{\text{Total de pedidos generados}} = \frac{369 \times 100}{587}$			
Interpretación			
El 62.86% de los pedidos se entregaron sin retraso, o sin información adicional.			

Gráfica estado actual



Categoría

Eficiencia

Eficacia

Efectividad

Especifique por qué clasificó el indicador en la categoría señalada

Se mide el porcentaje de pedidos generados sin retraso, o sin necesidad de información adicional

Datos de la variable

Nombre de la variable	Fuente	Nivel desagregación	Frecuencia de medición	Unidad medida	Responsable
Pedidos generados sin problemas, total pedidos generados	Sistema de ruteo de Alimentos José A LTDA.	Visita de cada puntos de venta	Mensual	Pedidos aceptados	Jefe de producción


Mecanismo frecuencia y responsable de medición

Se mide mensualmente el porcentaje de pedidos generados sin retraso, o sin necesidad de información adicional, el transportista consolida la información y la entrega al jefe de producción para que realice el análisis y el seguimiento al proceso

Resultados Período							
	1	2	3	4	5	6	7
Entregas a tiempo	369						
Total de entregas	587						
Resultado	63%						
Mínimo	74.2%						
Fecha de medición	3-02-2012						

Fuente: El autor. 2012

Tabla7. Hoja de vida indicador entregas recibidas sin inconvenientes

	<p>Hoja de vida indicador</p>
<p>Macro proceso</p> <p>Supply Chain</p> <p>Proceso</p> <p>Sistema de ruteo</p>	
<p>Fecha de creación del indicador Día <input type="text" value="4"/> Mes <input type="text" value="7"/> Año <input type="text" value="2012"/></p> <p>Nombre del indicador</p>	
<p>Nombre del indicador</p> <p>Entregas recibidas sin inconvenientes</p>	

Objetivo

Determinar el porcentaje de pedidos que no fueron entregados a tiempo.

Fórmula

$$\frac{\text{Pedidos Rechazados} \times 100}{\text{Total de Órdenes de Compra Recibidas}} = \frac{97 \times 100}{587}$$

Interpretación

El 16.52% de pedidos no cumplen las especificaciones de calidad y servicio definidas por el cliente.

Categoría

Eficiencia

Eficacia

Efectividad

Especifique por qué clasificó el indicador en la categoría señalada

Se mide el porcentaje de pedidos rechazados por los clientes al no cumplir con los horarios definidos.

Gráfica estado actual



Datos de la variable

Nombre de la variable	Fuente	Nivel desagregación	Frecuencia de medición	Unidad medida	Responsable
Pedidos rechazados por incumplimiento, total pedidos generados	Sistema de ruteo de la empres.	Visita de cada puntos de venta	Mensual	Pedidos rechazados	Jefe de producción

Mecanismo, frecuencia y responsable de medición

Se mide mensualmente el porcentaje de pedidos rechazados por incumplimiento en su entrega, el transportista consolida la información y la entrega al jefe de producción para que realice el análisis y el seguimiento al proceso

Control

Factor	Estatus	Umbral	Mín.	Acep.	Satis.	Sobresa.	Maxim.
Entregas perfectamente recibidas	16.52%	0%	13.2%	9.91%	6.6%	3.3%	0.0%

Como se interpreta


El porcentaje aceptable es de 9.91%, valores que estén por encima de este rango, reflejan niveles altos de rechazos en productos y desconfianza en la marca

Resultados

		Período						
		1	2	3	4	5	6	7
Perdidos rechazados		97						
Total pedidos		587						
Resultado		16.52 %						
Mini		9.91%						
Fecha de medición	de	3-02-2012						

Fuente: El autor. 2012

Tabla 8. Hoja de vida indicador nivel de cumplimiento

	Hoja de vida indicador		
<p>Macro proceso</p> <div>Supply Chain</div>			
<p>Proceso</p> <div>Sistema de ruteo</div>			
<p>Fecha de creación del indicador Día <div>4</div> Mes <div>7</div> Año <div>2012</div></p> <p>Nombre del indicador</p>			
<p>Nombre del indicador</p> <div>Nivel de cumplimiento</div>			
<p>Objetivo</p> <div>Determinar el porcentaje de pedidos recibidos fuera de tiempo</div> <p>Fórmula</p> $\frac{\text{Pedidos Recibidos Fuera de Tiempo} \times 100}{\text{Total Pedidos Recibidos}} = \frac{121 \times 100}{563}$ <p>Interpretación</p> <div>El nivel de cumplimiento ofrecido por la empresa en la caracterización fue de 20.61%.</div>			
<p>Categoría</p> <div> <div>Eficiencia</div> <div>Eficacia</div> <div>Efectividad</div> </div> <p>Especifique por qué clasificó el indicador en la categoría señalada</p> <div>Se mide el porcentaje de pedidos recibidos fuera de tiempo según las exigencias del cliente</div>			

Gráfica estado actual



Datos de la variable

Nombre de la variable	Fuente	Nivel desagregación	Frecuencia de medición	Unidad medida	Responsable
Pedidos recibidos fuera de tiempo, total pedidos generados	Sistema de ruteo de Alimentos José A LTDA	Visita de cada puntos de venta	Mensual	Pedidos aceptados fuera de tiempo	Jefe de producción

Mecanismo frecuencia y responsable de medición

Se mide mensualmente el porcentaje de pedidos recibidos fuera de tiempo, el transportista consolida la información y la entrega al jefe de producción para que realice el análisis y el seguimiento al proceso

Control

Factor	Estatus	Umbral	Mín.	Acep.	Satis.	Sobresa.	Maxim.
Nivel de cumplimiento	20.61	0%	16.5%	12.3%	8.2%	4.12%	0%

Como se interpreta


El porcentaje aceptable es de 12.3%, valores que estén por encima de este rango reflejan altos niveles de rechazos y perdida en la relación marca-cliente

Resultados

	Período						
	1	2	3	4	5	6	7
Var 1	121						
Var 2	587						
Resultado	20.61%						
Mínimo	12.3%						
Fecha de medición	3-02-2012						

Fuente: El autor. 2012

Tabla 9. Hoja de vida indicador nivel de utilización del transporte

	Hoja de vida indicador		
Macro proceso			
Supply Chain			
Proceso			
Sistema de ruteo			
Fecha de creación del indicador Nombre del indicador	Día	4	Mes
		7	Año
			2012
Nombre del indicador			
Nivel de utilización del transporte			

Objetivo

Determinar el porcentaje de utilización del furgón utilizado por la empresa

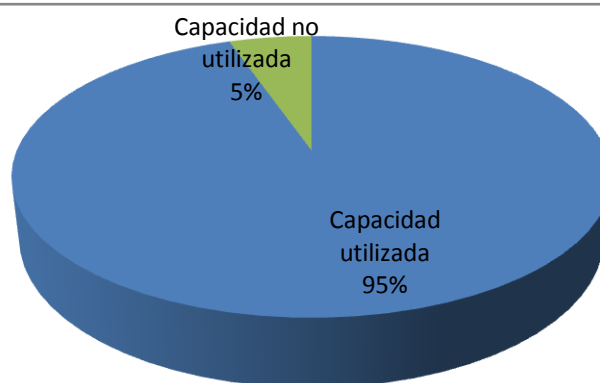
Fórmula

$$\frac{\text{Capacidad real utilizada}}{\text{Capacidad real camion}} = \frac{6.816 \text{ m}^3 \times 100}{7.2 \text{ m}^3}$$

Interpretación

La capacidad del transporte utilizado es del 94.66%

Gráfica estado actual



Datos de la variable

Nombre de la variable	Fuente	Nivel desagregación	Frecuencia de medición	Unidad medida	Responsable
Pedidos recibidos fuera de tiempo, total pedidos generados	Sistema de ruteo de Alimentos José A LTDA	Visita de cada puntos de venta	Diaria	Volumen M ³	Jefe de producción

Mecanismo frecuencia y responsable de medición

Se mide diariamente el volumen ocupado por la mercancía en el furgón, el transportista consolida la información y la entrega al jefe de producción para que realice el análisis y el seguimiento al proceso.

Control

Factor	Estatus	Umbral	Mín.	Acep.	Satis.	Sobresa.	Maxim.
Nivel de cumplimiento	95%	%	90%	85%%	82%	70%%	65%

Como se interpreta

El porcentaje aceptable es de 85% para no deteriorar la mercancía transportada

Resultados

	Período						
	1	2	3	4	5	6	7
Var 1	121						
Var 2	587						
Resultado	20.61%						
Mínimo	12.3%						
Fecha de medición	3-02-2012						

Fuente: El autor. 2012

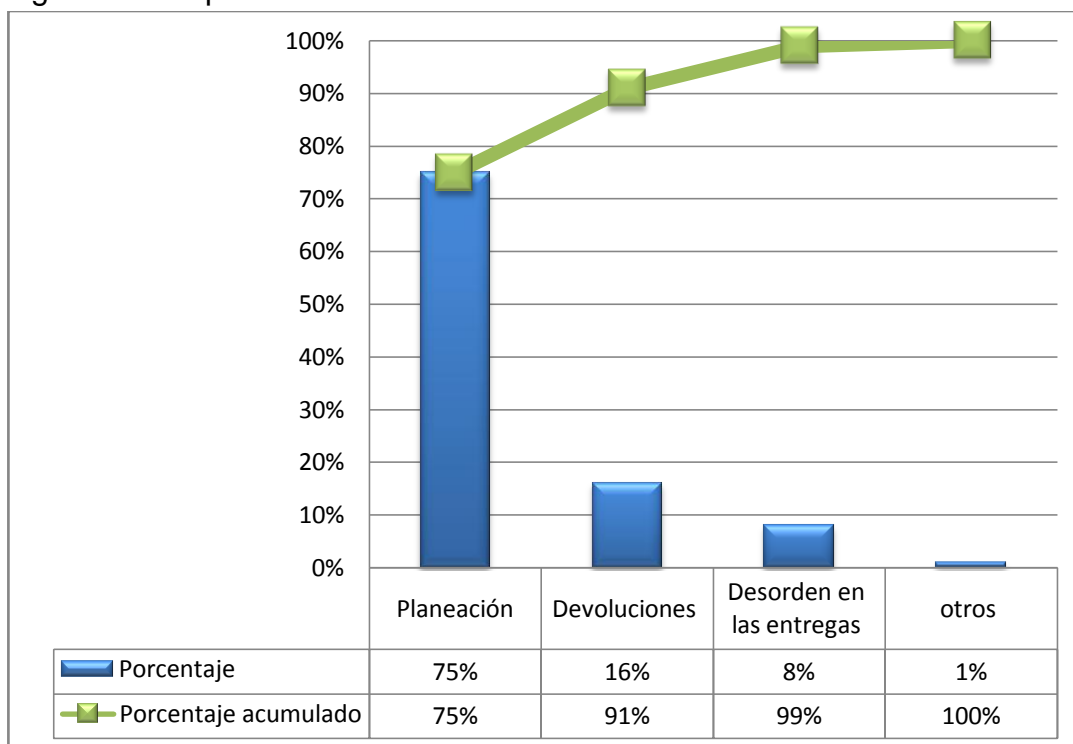
2.5 PRINCIPALES CAUSAS QUE AFECTAN EL SISTEMA

Para determinar las situaciones que están afectando el sistema de abastecimiento utilizado, se realizó una reunión con los empleados y la gerente de producción de Alimentos José A LTDA. Después de analizar y separar las causas más relevantes, se concluyó que los errores eran originados por:

- Tiempos y demoras en la entrega de mercancía.
- Deficiencias en la planeación de rutas afectando la competitividad.
- Altos costos que se generan al visitar varias veces la empresa o al recorrer distancias innecesarias.
- Desorden en el abastecimiento, priorizando puntos de venta con bajos índices de devoluciones o poca rentabilidad

Se planteo un diagrama de Pareto donde se puede observar el valor porcentual de las causas que afectan el sistema expresadas en el diagrama de la figura 1, determinando así que la planeación utilizada en Alimentos José A LTDA. No es suficiente para cumplir con las expectativas de los clientes

Figura 13. Esquema causa efecto alimentos José A



Fuente: El autor. 2012

Se identificaron los puntos de venta que presentan inconvenientes en su abastecimiento durante los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre de 2011, Enero y Febrero de 2012 como se muestra en la tabla 10; se ordenaron los datos de mayor a menor en función de los pedidos entregados fuera de tiempo o rechazados y se observa que aproximadamente el 80 por ciento de las devoluciones son causas por Galerías, Candelaria, Unicentro y HC 170. la columna volumen fue calculada de acuerdo con el número de canastillas plásticas en la que se empaican los pedidos para cada punto de venta, cuyas especificaciones son: Largo 60 cm, alto 40 cm y ancho 40 cm. Posteriormente se realiza una clasificación ABC como se detalla en la tabla 11 con las siguientes políticas:

- A: 80% de los puntos de venta presentan entregas fuera de tiempo y/o productos rechazados

- B: 81-95% de los puntos de venta presentan entregas fuera de tiempo y/o productos rechazados
- C: 96-100% de los puntos de venta presentan entregas fuera de tiempo y/o productos rechazados

Tabla 10. Calificación de datos

Punto de venta	Pedidos fuera de tiempo y rechazados	Vol. m3	% Acum.	Política	Parti. Rechazos	Partic. puntos de venta	Partic. Volumen
Candelaria	66	0,384	30,28%	A	74,77%	23,50%	31,00%
Unicentro	41	0,672	18,81%				
Galerías	32	0,576	14,68%				
HC 170	24	0,48	11,01%				
La Punta	12	0,48	5,50%	B	18,35%	29,40%	40,80%
Aeropuerto	9	1,248	4,13%				
Av Dorado	7	0,48	3,21%				
Santa Bárbara	6	0,288	2,75%				
Nueva Autopista	6	0,288	2,75%				
Modelia	4	0,192	1,83%	C	6,88%	47,10%	28,20%
Colina	3	0,192	1,38%				
Nogal	3	0,192	1,38%				
Chico	2	0,192	0,92%				
Villa Prado	1	0,192	0,46%				
Alhambra	1	0,288	0,46%				
Country	1	0,192	0,46%				
Terminal	0	0,48	0,00%				

Fuente: El autor. 2012

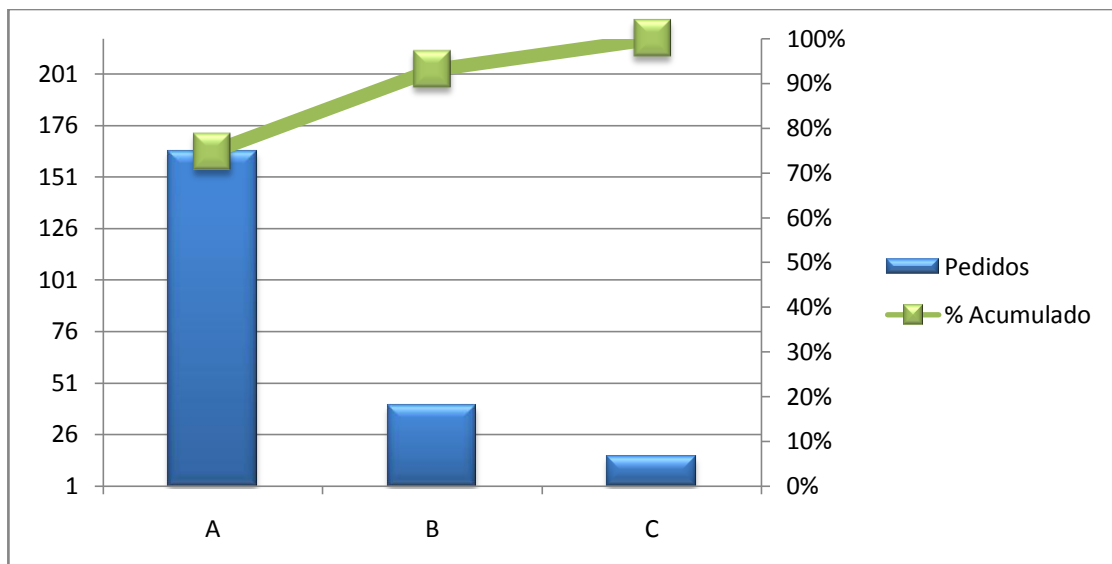
Con los datos anteriores se realiza la tabla 11 con los porcentajes de cada política y su frecuencia acumulada para el diagrama de Pareto de la figura 14.

Tabla 11. Datos para el diagrama de Pareto, participación rechazos

Política	Pedidos	% Acumulado
A	163	77%
B	40	94%
C	15	100%

Fuente: El autor. 2012

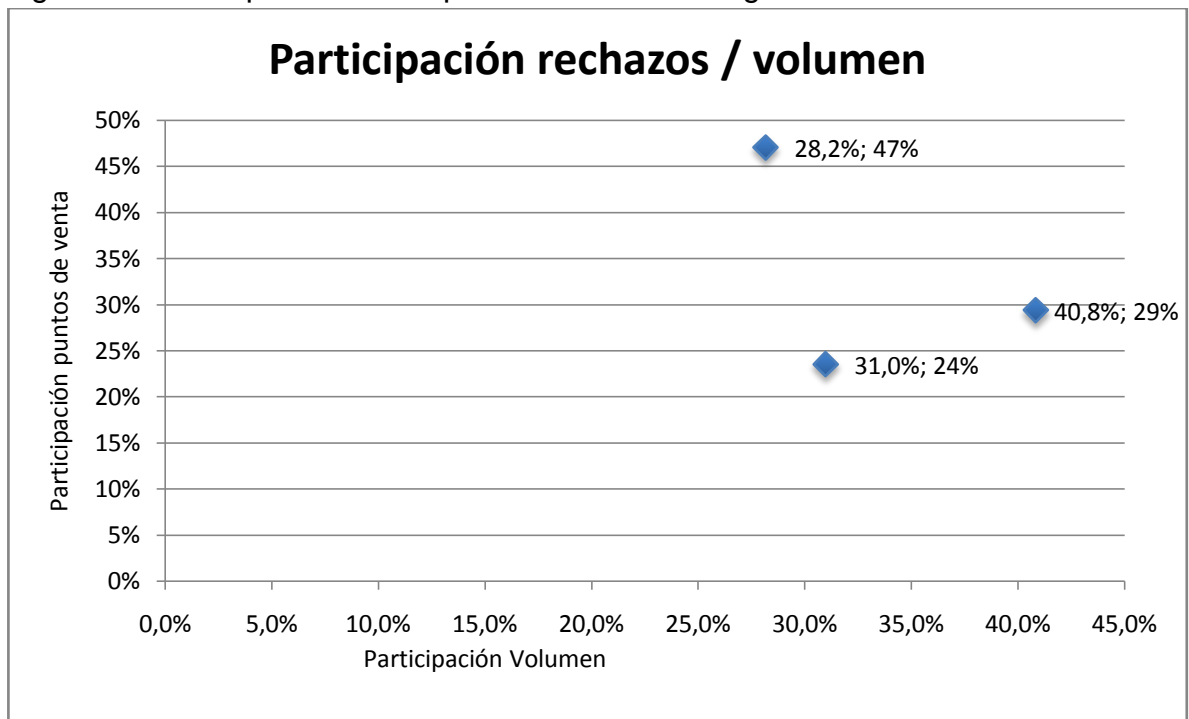
Figura 14. Diagrama de Pareto de pedidos entregados fuera de tiempo o rechazados



Fuente: El autor. 2012

Los puntos de venta, Candelaria, Galerías, Unicentro y Home Center (HC) 170, presentan un 77% de pedidos rechazados o entregados fuera de tiempo como se muestra en la figura 14 diagrama de Pareto, en la figura 15 se observa la participación que presentan los puntos de venta en el eje x y en el eje y el volumen de cada política, es decir según la política a que representa el 24% de los puntos de venta tiene el 31% del volumen transportado, el cual ha presentado rechazos o inconformidad por los cliente. Las principales causas son: La falta de planeación en rutas, trancones presentes en la ciudad, priorizar el abastecimiento de los puntos de venta más cercanos a la fábrica sin tener en cuenta su rentabilidad o sus índices de pedidos rechazados, afectando los ingresos, costos y la imagen de la compañía.

Figura 15. Participación de los puntos de venta / carga



Fuente: El autor. 2012

2.6 MATRIZ DE DECISIÓN

La matriz de decisión de rentabilidad hace referencia al comportamiento que tiene cada punto de venta según los siguientes escenarios: Se incrementa la demanda en un 50%, permanece igual o disminuye un 50% como se detalla en la tabla 8, esta matriz fue diseñada a priori con la gerente de producción y empleados de la empresa. La matriz fue solucionada a través de cuatro métodos, el criterio máxima mínima, máxima máxima, en el que se escogió el punto de venta con mejores resultado en la situación de demanda baja y alta respectivamente, el óptimo-pesimista se solucionó con porcentajes de 40 y 60 en escenarios favorables y desfavorables y el método de la Laplace con un porcentaje de 33 para cada escenario.

Tabla 12. Matriz demanda / utilidades de abastecimiento

Puntos de venta	Demanda			SOLUCIÓN			
	Alta	Media	Baja	Máxima mínima	Máxima máxima	Opti-Pesim.	LAPLACE
Terminal	1,42	1,00	0,32			0,76	0,91
Aeropuerto	2,25	1,00	0,88	Aerop.	Aerop.	1,43	1,38
Av Dorado	1,50	1,00	0,04			0,62	0,85
Galerías	2,60	1,00	0,79	Galerías	Galerías	1,51	1,46
Modelia	1,34	1,00	0,12			0,61	0,82
Candelaria	1,89	1,00	0,17			0,86	1,02
Nogal	1,25	1,00	0,18			0,61	0,81
Chico	1,80	1,00	0,66			1,11	1,15
Country	1,24	1,00	0,24			0,64	0,83
Santa Bárbara	1,53	1,00	0,53			0,93	1,02
Unicentro	2,80	1,00	0,72	Unicentro	Unicentro	1,55	1,51
Alhambra	1,50	1,00	0,19			0,72	0,90
Colina	1,30	1,00	0,32			0,71	0,87
Nueva Autopista	1,49	1,00	0,34			0,80	0,94
Villa Prado	1,56	1,00	0,42			0,88	0,99
HC 170	2,00	1,00	0,33			1,00	1,11
La Punta	1,58	1,00	0,08			0,68	0,89

Fuente: El autor. 2012

Comparando los métodos utilizados en la solución de la matriz, la opción que presenta mayores utilidades para la empresa es Galerías, Unicentro y Aeropuerto.

2.7 ANÁLISIS DOFA

La matriz DOFA conocido como FODA, y SWOT en inglés, es una herramienta para entender y tomar decisiones en toda situación empresarial; DOFA es el acrónimo de Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas, suministrando un marco de referencia para revisar la estrategia, posición y dirección de la empresa Alimentos José A. LTDA en su sistema de abastecimiento. Para su desarrollo se analizaron factores logísticos de la cadena de abastecimiento a nivel

mundial y nacional así como el análisis interno de la compañía como se muestra en la figura 16.

Figura 16. Matriz DOFA

OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Restricción a los vehículos de carga durante el día • Implementación de contra flujos estratégicos en vías donde se presenta un mayor estancamiento vehicular en horas pico • Pico y placa vehicular para transporte público y privado 	<ul style="list-style-type: none"> • Pésimo estado de la malla vial • Atraso en la infraestructura vial • Programación deficiente de semáforos • Falta de planeación y demoras en las obras públicas y re parcheo de vías • Crecimiento anual del parque automotor • Invierno e inundaciones
FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Movilidad propia para el transporte de mercancía • Cercanía entre puntos de venta • El transporte utilizado presenta la capacidad necesaria • La ubicación de la fabrica presenta diversas vías para iniciar el sistema de abastecimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • No hay presencia de un sistema de ruteo flexible y eficiente. • Entrega de pedidos fuera del tiempo. • Falta de claridad en procesos logísticos • Poca organización con el área de producción

Fuente: El autor. 2012

En la figura 17 se detallan las posibles estrategias que se deben tener en cuenta para solucionar el deficiente sistema de abastecimiento que presenta la empresa Alimentos José A.

Figura 17. Matriz estrategias DOFA

Estrategia FO: Crecimiento	Estrategia FA: Supervivencia
<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar un sistema de abastecimiento flexible y eficiente que proporcione las necesidades que presenta la empresa considerando las estrategias de movilidad del gobierno. • Elaborar indicadores de gestión que permitan controlar y mejorar el desempeño en los procesos. • Buscar la integración de los diferentes sistemas y departamentos de la empresa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar tiempos de entrega considerando el estado de la malla vial y semáforos entre los puntos de ventas. • Aprovechar la ubicación de la empresa para evitar retrasos buscando vías alternas. • Introducir a la organización en una cultura de medición, evaluación y control.
Estrategia DO: Supervivencia	Estrategia DA: Fuga
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar las estrategias del gobierno en materia de movilidad como contra flujos, horas pico y restricción de vehículos para mejorar la respuesta al cliente. • Uso de procesos y procedimientos estandarizados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contratar una empresa especializada en abastecimiento. • Buscar asesorías en planeación de rutas y logística de abastecimiento.

Fuente: El autor. 2012

2.8 DIFERENCIAS Y NECESIDADES DE LA COMPAÑÍA

- Se evidencia la falta de un sistema de ruteo que optimice las entregas en la empresa permitiendo una ventaja competitiva al mejorar el servicio al cliente
- La empresa no tiene indicadores de gestión que permitan controlar y mejorar el desempeño en los procesos
- Es necesario optimizar la utilización del transporte de la compañía reduciendo los tiempos de entrega y el volumen transportado
- El 62.86% de los pedidos se generaron sin retraso, o sin necesidad de información adicional

- El 16.52% de pedidos no cumplen las especificaciones de tiempo demandadas por los clientes
- El nivel de cumplimiento ofrecido por la empresa en la caracterización fue de 20.61%
- La capacidad del transporte utilizado es del 94.66%, es decir si la demanda aumenta drásticamente no se tendría espacio para transportar todos los pedidos a tiempo

Al comprar las diferentes herramientas para la solución del proyecto se seleccionó el modelamiento TSP en programación lineal ya que el lenguaje de programación es más versátil comparado con algoritmos genéticos y colonia de hormigas. Dicho modelamiento presenta características como:

- Permite obtener resultados en un tiempo relativamente corto
- Se puede representar la realidad en un modelamiento matemático sencillo
- Se adaptó exitosamente a las necesidades del problema presentado
- Existe variedad de programas en los cuales se puede programar
- El modelo en programación lineal presenta un mayor rendimiento computacional y tiempos de operación

2.9 MODELAMIENTO MATEMÁTICO BASADO EN EL PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO

Básicamente el problema del agente viajero TSP, trata de n puntos de venta para abastecer y en cada destino hay una distancia determinada, el número de ciclos hamiltonianos diferentes que se presenta son $n!$. Para cada uno de los $n!$ ciclos se asigna una distancia total y el objetivo es escoger una distancia mínima. En este caso se presenta $n = 18$ localidades. El número total de ciclos hamiltonianos diferentes son $18! = 6.402373706 \times 10^{15}$. La bodega como es el punto de origen será nominado como 0 y el punto de venta final como $n+1$. Se introduce la variable x_{ij} ($i = 0, 1, \dots, n, j = 1, \dots, n+1, i \neq j$) con valor 0 ó 1 que tomara los siguientes valores:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si se va del punto de venta } i \text{ al punto de venta } j \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Tabla 13. Matriz de distancia

	Puntos Km	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0	Bodega	0	5.6	4.6	2.8	2.6	15.5	11.5	11	12.7	11.1	14.6	12.7	9.8	11.4	14.1	15.8	17.3	25.1
1	Terminal	7.9	0	9.3	4.4	4.8	11.4	10.2	11.3	13.5	11.3	18.6	13.1	12.6	14.7	19.9	19.1	26.8	32.3
2	Aeropuerto	6.9	6.8	0	7.1	3.7	17.7	12.3	15.9	17.3	16	17.3	18	16.8	14.8	19.5	19.3	25.8	29
3	Av. Dorado	4.1	3.4	4.3	0	2.7	14.3	6.3	9.9	11.2	9.9	10.4	11.2	8.5	10.1	12.5	14.6	19.7	26.3
4	Modelia	5.1	3.4	5.8	5.7	0	14.1	11.0	14.6	16.0	14.6	16	16.7	15.5	13	18.2	17.5	25.4	27.2
5	Candelaria	13.4	11.3	13.6	9.8	12.0	0	6.9	8.2	10.7	9.8	13.6	13.7	15.9	18.8	15.7	20.1	22	34.4
6	Galerías	13.3	15.3	11.5	7.8	10	7.8	0	3.2	6.3	6.1	8.2	9.2	8.5	13.2	10.3	14.8	16.6	31
7	Nogal	10	12	15.1	10.4	13.5	8.8	4.3	0	2.6	1.7	6.0	7	7.1	9.9	8.1	12.6	14.4	27.7
8	Chico	9.6	12.3	14.8	11.0	13.2	11.2	6.6	3.4	0	3.6	3.9	3.3	5.4	8.3	6.0	10.4	12.3	28.3
9	Country	11.1	13.1	18.8	11.5	17.3	11.1	7.0	2.0	1.7	0	4.4	5.4	4.7	9.4	6.5	11.0	12.8	28.9
10	Santa Bárbara	10.6	12.2	15.8	10.6	14.2	16.3	9.5	6.7	5.1	6.6	0	1.1	1.6	6.1	3.1	7.6	9.4	28.2
11	Unicentro	10.8	12.3	16.1	10.7	14.5	15.3	8.5	7.9	4.0	7.8	1.5	0	2.4	7.3	4.3	8.8	10.6	29.4
12	Alhambra	8.6	10.1	14.6	8.5	13.0	14.4	7.6	4.7	4.9	4.6	1.6	2.5	0	5.9	4.6	9.1	10.9	27.9
13	Colina	11.7	13.2	15.8	11.6	14.3	20.1	13.3	9.8	11.3	9.7	5.6	6.4	5.7	0	4.6	4.7	5.8	29.3
14	Nueva Autopista	13	14.5	20.6	12.9	19.1	20.4	13.6	10.8	10.9	10.7	2.8	4.0	6.7	5.4	0	4.8	6.6	30.6
15	Villa Prado	14.0	15.9	22.2	14.3	20.6	22.0	15.2	12.3	12.5	12.2	8.4	9.2	8.2	5.9	7.3	0	1.2	32.0
16	HC 170	15.4	16.9	21.0	17.3	19.5	20.9	14.0	11.2	11.4	11.1	7.3	8.0	7.1	4.8	6.1	1.2	0	34.3
17	La Punta	22.7	27.9	25.0	26.2	24.7	35.7	28.6	28.1	29.8	28.1	31.6	32.6	26.9	28.4	33.8	32.9	40.1	0

Fuente. Google maps. 2012.

Para completar el modelo de programación lineal es necesario minimizar la sumatoria total de distancia del recorrido como se detalla en la fórmula 10.

Fórmula 10. Función objetivo TSP

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in E} C_{ij} X_{ij}$$

Fuente: Métodos cuantitativos. 2001

La formulación en programación entera del problema del agente viajero, consiste en encontrar variables X_{ij} y números reales arbitrarios α_{ij} ; las restricciones del sistema son:

- Cada punto de venta debe ser visitado solamente una vez excepto la bodega, donde se representan con 0.
- se debe salir de cada localidad solo una vez excluyendo el punto de venta $n+1$, la fórmula 11 garantiza que esta restricción se cumpla, Sin embargo, con estas restricciones y la condición binaria de las variables x_{ij} , no es suficiente para garantizar que las soluciones factibles son recorridos, es posible que aparezca una solución formada por sub-viajes (No conectadas entre sí) y que cumplan las restricciones anteriores, por esto es necesario añadir más restricciones que eviten la formación de sub-viajes, una forma de eliminar estos sub-viajes es agregando la restricción que se muestra en la fórmula 12.⁴⁹

Fórmula 11. Restricciones teóricas.

$$s. a \sum_{i=0}^n X_{ij} = 1 \quad (j = 1, \dots, n+1, i \neq j)$$

$$s. a \sum_{j=0}^{n+1} X_{ij} = 1 \quad (i = 1, \dots, n, i \neq j)$$

Fuente: Métodos cuantitativos. 2001

Fórmula 12. Restricciones teóricas

$$\alpha_i - \alpha_j + (n+1)x_{i,j} \leq n \quad (i = 0, \dots, n, j = 1, \dots, n+1, i \neq j)$$

$$\alpha_i \geq 0 \quad (i = 0, \dots, n+1)$$

$$x_{i,j} \in \{0,1\} (i = 0, \dots, n, j = 1, \dots, n+1, i \neq j)$$

Fuente: Métodos cuantitativos. 2001

Reemplazando con las fórmulas con las distancias de la tabla 13 se tiene el siguiente planteamiento matemático:

⁴⁹ VICENS SALORT, Eduardo. Métodos cuantitativos volumen 3, Universidad Politécnica de Valencia, 2001

Minimizar :7.9 $x_{1,0}$ + 6.9 $x_{2,0}$ +4.1 $x_{3,0}$ + 5.1 $x_{4,0}$ +13.4 $x_{5,0}$ + 13.3 $x_{6,0}$ + 10 $x_{7,0}$ +9.6 $x_{8,0}$ +
 11.1 $x_{9,0}$ +10.6 $x_{10,0}$ +10.8 $x_{11,0}$ + 8.6 $x_{12,0}$ +11.7 $x_{13,0}$ +13 $x_{14,0}$ + 14 $x_{15,0}$ + 15.4 $x_{16,0}$ +
 22.7 $x_{17,0}$ + 5.6 $x_{0,1}$ +6.8 $x_{2,1}$ +3.4 $x_{3,1}$ +3.4 $x_{4,1}$ +11.3 $x_{5,1}$ +15.3 $x_{6,1}$ +12 $x_{7,1}$ +12.3
 $x_{8,1}$ +13.1 $x_{9,1}$ + 12.2 $x_{10,1}$ +12.3 $x_{11,1}$ +10.1 $x_{12,1}$ + 13.2 $x_{13,1}$ +14.5 $x_{14,1}$ + 15.9 $x_{15,1}$
 +16.9 $x_{16,1}$ + 27.9 $x_{17,1}$ +4.6 $x_{0,2}$ +9.3 $x_{1,2}$ + 4.3 $x_{3,2}$ + 5.8 $x_{4,2}$ +13.6 $x_{5,2}$ +11.5 $x_{6,2}$
 +15.1 $x_{7,2}$ +14.8 $x_{8,2}$ +18.8 $x_{9,2}$ +15.8 $x_{10,2}$ +16. $x_{11,2}$ +14.6 $x_{12,2}$ +15.8 $x_{13,2}$ +20.6
 $x_{14,2}$ +22.2 $x_{15,2}$ +21 $x_{16,2}$ +25 $x_{17,2}$ +2.8 $x_{0,3}$ +4.4 $x_{1,3}$ +7.1 $x_{2,3}$ +5.7 $x_{4,3}$ +9.8
 $x_{5,3}$ +7.8 $x_{6,3}$ +10.4 $x_{7,3}$ +11 $x_{8,3}$ +11.5 $x_{9,3}$ +10.6 $x_{10,3}$ +10.7 $x_{11,3}$ +8.5 $x_{12,3}$ +11.6
 $x_{13,3}$ +12.9 $x_{14,3}$ +14.3 $x_{15,3}$ +17.3 $x_{16,3}$ +26.2 $x_{17,3}$ +2.6 $x_{0,4}$ +4.8 $x_{1,4}$ +3.7 $x_{2,4}$ +2.7
 $x_{3,4}$ +12 $x_{5,4}$ +10 $x_{6,4}$ +13.5 $x_{7,4}$ +13.2 $x_{8,4}$ +17.3 $x_{9,4}$ +14.2 $x_{10,4}$ +14.5 $x_{11,4}$ +13 $x_{12,4}$
 +14.3 $x_{13,4}$ +19.1 $x_{14,4}$ +20.6 $x_{15,4}$ +19.5 $x_{16,4}$ +24.7 $x_{17,4}$ +15.5 $x_{0,5}$ +11.4 $x_{1,5}$
 +17.7 $x_{2,5}$ +14.3 $x_{3,5}$ +14.1 $x_{4,5}$ +7.8 $x_{6,5}$ +8.8 $x_{7,5}$ +11.2 $x_{8,5}$ +11.1 $x_{9,5}$ +16.3
 $x_{10,5}$ +15.3 $x_{11,5}$ +14.4 $x_{12,5}$ +20.1 $x_{13,5}$ +20.4 $x_{14,5}$ +22 $x_{15,5}$ +20.9 $x_{16,5}$ +35.7
 $x_{17,5}$ +11.5 $x_{0,6}$ +10.2 $x_{1,6}$ +12.3 $x_{2,6}$ +6.3 $x_{3,6}$ +11 $x_{4,6}$ +6.9 $x_{5,6}$ +4.3 $x_{7,6}$ +6.6 $x_{8,6}$
 +7 $x_{9,6}$ +9.5 $x_{10,6}$ +8.5 $x_{11,6}$ +7.6 $x_{12,6}$ +13.3 $x_{13,6}$ +13.6 $x_{14,6}$ +15.2 $x_{15,6}$ +14 $x_{16,6}$
 +28.6 $x_{17,6}$ +11 $x_{0,7}$ +11.3 $x_{1,7}$ +15.9 $x_{2,7}$ +9.9 $x_{3,7}$ +14.6 $x_{4,7}$ +8.2 $x_{5,7}$ +3.2 $x_{6,7}$ +3.4
 $x_{8,7}$ +2 $x_{9,7}$ +6.7 $x_{10,7}$ +7.9 $x_{11,7}$ +4.7 $x_{12,7}$ +9.8 $x_{13,7}$ +10.8 $x_{14,7}$ +12.3 $x_{15,7}$ +11.2
 $x_{16,7}$ +28.1 $x_{17,7}$ +12.7 $x_{0,8}$ +13.5 $x_{1,8}$ +17.3 $x_{2,8}$ +11.2 $x_{3,8}$ +16 $x_{4,8}$ +10.7 $x_{5,8}$ +6.3
 $x_{6,8}$ +2.6 $x_{7,8}$ +1.7 $x_{9,8}$ +5.1 $x_{10,8}$ +4 $x_{11,8}$ +4.9 $x_{12,8}$ +11.3 $x_{13,8}$ +10.9 $x_{14,8}$ +12.5
 $x_{15,8}$ +11.4 $x_{16,8}$ +29.8 $x_{17,8}$ +11.1 $x_{0,9}$ +11.3 $x_{1,9}$ +16 $x_{2,9}$ +9.9 $x_{3,9}$ +14.6 $x_{4,9}$ +9.8
 $x_{5,9}$ +6.1 $x_{6,9}$ +1.7 $x_{7,9}$ +3.6 $x_{8,9}$ +6.6 $x_{10,9}$ +7.8 $x_{11,9}$ +4.6 $x_{12,9}$ +9.7 $x_{13,9}$ +10.7 $x_{14,9}$
 +12.2 $x_{15,9}$ +11.1 $x_{16,9}$ +28.1 $x_{17,9}$ +14.6 $x_{0,10}$ +18.6 $x_{1,10}$ +17.3 $x_{2,10}$ +10.4 $x_{3,10}$ +16
 $x_{4,10}$ +13.6 $x_{5,10}$ +8.2 $x_{6,10}$ +6 $x_{7,10}$ +3.9 $x_{8,10}$ +4.4 $x_{9,10}$ +1.5 $x_{11,10}$ +1.6 $x_{12,10}$ +5.6
 $x_{13,10}$ +2.8 $x_{14,10}$ +8.4 $x_{15,10}$ +7.3 $x_{16,10}$ +31.6 $x_{17,10}$ +12.7 $x_{0,11}$ +13.1 $x_{1,11}$ +18 $x_{2,11}$
 +11.2 $x_{3,11}$ +16.7 $x_{4,11}$ +13.7 $x_{5,11}$ +9.2 $x_{6,11}$ +7 $x_{7,11}$ +3.3 $x_{8,11}$ +5.4 $x_{9,11}$ +1.1 $x_{10,11}$
 +2.5 $x_{12,11}$ +6.4 $x_{13,11}$ +4 $x_{14,11}$ +9.2 $x_{15,11}$ +8 $x_{16,11}$ +32.6 $x_{17,11}$ +9.8 $x_{0,12}$ +12.6
 $x_{1,12}$ +16.8 $x_{2,12}$ +8.5 $x_{3,12}$ +15.5 $x_{4,12}$ +15.9 $x_{5,12}$ +8.5 $x_{6,12}$ +7.1 $x_{7,12}$ +5.4 $x_{8,12}$
 +4.7 $x_{9,12}$ +1.6 $x_{10,12}$ +2.4 $x_{11,12}$ +5.7 $x_{13,12}$ +6.7 $x_{14,12}$ +8.2 $x_{15,12}$ +7.1 $x_{16,12}$ +26.9
 $x_{17,12}$ +11.4 $x_{0,13}$ +14.7 $x_{1,13}$ +14.8 $x_{2,13}$ +10.1 $x_{3,13}$ +13 $x_{4,13}$ +18.8 $x_{5,13}$ +13.2 $x_{6,13}$
 +9.9 $x_{7,13}$ +8.7 $x_{8,13}$ +9.4 $x_{9,13}$ +6.1 $x_{10,13}$ +7.3 $x_{11,13}$ +5.9 $x_{12,13}$ +5.4 $x_{14,13}$ +5.9
 $x_{15,13}$ +4.8 $x_{16,13}$ +28.4 $x_{17,13}$ +14.1 $x_{0,14}$ +19.9 $x_{1,14}$ +19.5 $x_{2,14}$ +12.5 $x_{3,14}$ +18.2
 $x_{4,14}$ +15.7 $x_{5,14}$ +10.3 $x_{6,14}$ +8.1 $x_{7,14}$ +6 $x_{8,14}$ +6.5 $x_{9,14}$ +3.1 $x_{10,14}$ +4.3 $x_{11,14}$ +4.6
 $x_{12,14}$ +4.6 $x_{13,14}$ +7.3 $x_{15,14}$ +6.1 $x_{16,14}$ +33.8 $x_{17,14}$ +15.8 $x_{0,15}$ +19.1 $x_{1,15}$ +19.3
 $x_{2,15}$ +14.6 $x_{3,15}$ +17.5 $x_{4,15}$ +20.1 $x_{5,15}$ +14.8 $x_{6,15}$ +12.6 $x_{7,15}$ +10.4 $x_{8,15}$ +11 $x_{9,15}$
 +7.6 $x_{10,15}$ +8.8 $x_{11,15}$ +9.1 $x_{12,15}$ +4.7 $x_{13,15}$ +4.8 $x_{14,15}$ +1.2 $x_{16,15}$ +32.9 $x_{17,15}$
 +17.3 $x_{0,16}$ +26.8 $x_{1,16}$ +25.8 $x_{2,16}$ +19.7 $x_{3,16}$ +25.4 $x_{4,16}$ +22 $x_{5,16}$ +16.6 $x_{6,16}$ +14.4
 $x_{7,16}$ +12.3 $x_{8,16}$ +12.8 $x_{9,16}$ +9.4 $x_{10,16}$ +10.6 $x_{11,16}$ +10.9 $x_{12,16}$ +5.8 $x_{13,16}$ +6.6
 $x_{14,16}$ +1.2 $x_{15,16}$ +40.1 $x_{17,16}$ +20.1 $x_{0,17}$ +32.3 $x_{1,17}$ +29 $x_{2,17}$ +26.3 $x_{3,17}$ +27.2 $x_{4,17}$
 +34.4 $x_{5,17}$ +31 $x_{6,17}$ +27.7 $x_{7,17}$ +28.3 $x_{8,17}$ +28.9 $x_{9,17}$ +28.2 $x_{10,17}$ +29.4 $x_{11,17}$
 +27.9 $x_{12,17}$ +29.3 $x_{13,17}$ +30.6 $x_{14,17}$ +32 $x_{15,17}$ +34.3 $x_{16,17}$;

Sujeto a:

- 1) $x_{1,0}+x_{2,0}+x_{3,0}+x_{4,0}+x_{5,0}+x_{6,0}+x_{7,0}+x_{8,0}+x_{9,0}+x_{10,0}+x_{11,0}+x_{12,0}+x_{13,0}+x_{14,0}+x_{15,0}+x_{16,0}+x_{17,0}=1;$
- 2) $x_{0,1}+x_{0,2}+x_{0,3}+x_{0,4}+x_{0,5}+x_{0,6}+x_{0,7}+x_{0,8}+x_{0,9}+x_{0,10}+x_{0,11}+x_{0,12}+x_{0,13}+x_{0,14}+x_{0,15}+x_{0,16}+x_{0,17}=1;$
- 3) $x_{0,1}+x_{2,1}+x_{3,1}+x_{4,1}+x_{5,1}+x_{6,1}+x_{7,1}+x_{8,1}+x_{9,1}+x_{10,1}+x_{11,1}+x_{12,1}+x_{13,1}+x_{14,1}+x_{15,1}+x_{16,1}+x_{17,1}=1;$
- 4) $x_{1,0}+x_{1,2}+x_{1,3}+x_{1,4}+x_{1,5}+x_{1,6}+x_{1,7}+x_{1,8}+x_{1,9}+x_{1,10}+x_{1,11}+x_{1,12}+x_{1,13}+x_{1,14}+x_{1,15}+x_{1,16}+x_{1,17}=1;$
- 5) $x_{0,2}+x_{1,2}+x_{3,2}+x_{4,2}+x_{5,2}+x_{6,2}+x_{7,2}+x_{8,2}+x_{9,2}+x_{10,2}+x_{11,2}+x_{12,2}+x_{13,2}+x_{14,2}+x_{15,2}+x_{16,2}+x_{17,2}=1;$
- 6) $x_{2,0}+x_{2,1}+x_{2,3}+x_{2,4}+x_{2,5}+x_{2,6}+x_{2,7}+x_{2,8}+x_{2,9}+x_{2,10}+x_{2,11}+x_{2,12}+x_{2,13}+x_{2,14}+x_{2,15}+x_{2,16}+x_{2,17}=1;$
- 7) $x_{0,3}+x_{1,3}+x_{2,3}+x_{4,3}+x_{5,3}+x_{6,3}+x_{7,3}+x_{8,3}+x_{9,3}+x_{10,3}+x_{11,3}+x_{12,3}+x_{13,3}+x_{14,3}+x_{15,3}+x_{16,3}+x_{17,3}=1;$
- 8) $x_{3,0}+x_{3,1}+x_{3,2}+x_{3,4}+x_{3,5}+x_{3,6}+x_{3,7}+x_{3,8}+x_{3,9}+x_{3,10}+x_{3,11}+x_{3,12}+x_{3,13}+x_{3,14}+x_{3,15}+x_{3,16}+x_{3,17}=1;$
- 9) $x_{0,4}+x_{1,4}+x_{2,4}+x_{3,4}+x_{5,4}+x_{6,4}+x_{7,4}+x_{8,4}+x_{9,4}+x_{10,4}+x_{11,4}+x_{12,4}+x_{13,4}+x_{14,4}+x_{15,4}+x_{16,4}+x_{17,4}=1;$
- 10) $x_{4,0}+x_{4,1}+x_{4,2}+x_{4,3}+x_{4,5}+x_{4,6}+x_{4,7}+x_{4,8}+x_{4,9}+x_{4,10}+x_{4,11}+x_{4,12}+x_{4,13}+x_{4,14}+x_{4,15}+x_{4,16}+x_{4,17}=1;$
- (...)
- 36) $x_{17,0}+x_{17,1}+x_{17,2}+x_{17,3}+x_{17,4}+x_{17,5}+x_{17,6}+x_{17,7}+x_{17,8}+x_{17,9}+x_{17,10}+x_{17,11}+x_{17,12}+x_{17,13}+x_{17,14}+x_{17,15}+x_{17,16}=1;$
- 37) $18 x_{1,0} + \alpha_1 - \alpha_0 \leq 17;$
- 38) $18 x_{1,2} + \alpha_1 - \alpha_2 \leq 17;$
- 39) $18 x_{1,3} + \alpha_1 - \alpha_3 \leq 17;$
- 40) $18 x_{1,4} + \alpha_1 - \alpha_4 \leq 17;$
- 41) $18 x_{1,5} + \alpha_1 - \alpha_5 \leq 17;$
- 42) $18 x_{1,6} + \alpha_1 - \alpha_6 \leq 17;$
- 43) $18 x_{1,7} + \alpha_1 - \alpha_7 \leq 17;$
- 44) $18 x_{1,8} + \alpha_1 - \alpha_8 \leq 17;$
- 45) $18 x_{1,9} + \alpha_1 - \alpha_9 \leq 17;$
- 46) $18 x_{1,10} + \alpha_1 - \alpha_{10} \leq 17;$
- 47) $18 x_{1,11} + \alpha_1 - \alpha_{11} \leq 17;$
- 48) $18 x_{1,12} + \alpha_1 - \alpha_{12} \leq 17;$
- 49) $18 x_{1,13} + \alpha_1 - \alpha_{13} \leq 17;$
- 50) $18 x_{1,14} + \alpha_1 - \alpha_{14} \leq 17;$
- 51) $18 x_{1,15} + \alpha_1 - \alpha_{15} \leq 17;$
- 52) $18 x_{1,16} + \alpha_1 - \alpha_{16} \leq 17;$
- 53) $18 x_{1,17} + \alpha_1 - \alpha_{17} \leq 17;$
- 54) $18 x_{2,0} - \alpha_0 + \alpha_2 \leq 17;$
- 55) $18 x_{2,1} - \alpha_1 + \alpha_2 \leq 17;$

- 56) $18 x_{2,3} + \alpha_2 - \alpha_3 \leq 17$;
 57) $18 x_{2,4} + \alpha_2 - \alpha_4 \leq 17$;
 58) $18 x_{2,5} + \alpha_2 - \alpha_5 \leq 17$;
 59) $18 x_{2,6} + \alpha_2 - \alpha_6 \leq 17$;
 60) $18 x_{2,7} + \alpha_2 - \alpha_7 \leq 17$;
 61) $18 x_{2,8} + \alpha_2 - \alpha_8 \leq 17$;
 62) $18 x_{2,9} + \alpha_2 - \alpha_9 \leq 17$;
 63) $18 x_{2,10} + \alpha_2 - \alpha_{10} \leq 17$;
 64) $18 x_{2,11} + \alpha_2 - \alpha_{11} \leq 17$;
 65) $18 x_{2,12} + \alpha_2 - \alpha_{12} \leq 17$;
 66) $18 x_{2,13} + \alpha_2 - \alpha_{13} \leq 17$;
 67) $18 x_{2,14} + \alpha_2 - \alpha_{14} \leq 17$;
 68) $18 x_{2,15} + \alpha_2 - \alpha_{15} \leq 17$;
 69) $18 x_{2,16} + \alpha_2 - \alpha_{16} \leq 17$;
 70) $18 x_{2,17} + \alpha_2 - \alpha_{17} \leq 17$;
 71) $18 x_{3,0} - \alpha_0 + \alpha_3 \leq 17$;
 72) $18 x_{3,1} - \alpha_1 + \alpha_3 \leq 17$;
 73) $18 x_{3,2} - \alpha_2 + \alpha_3 \leq 17$;
 74) $18 x_{3,4} + \alpha_3 - \alpha_4 \leq 17$;
 75) $18 x_{3,5} + \alpha_3 - \alpha_5 \leq 17$;
 76) $18 x_{3,6} + \alpha_3 - \alpha_6 \leq 17$;
 77) $18 x_{3,7} + \alpha_3 - \alpha_7 \leq 17$;
 78) $18 x_{3,8} + \alpha_3 - \alpha_8 \leq 17$;
 (...)
 325) $18 x_{17,16} - \alpha_{16} + \alpha_{17} \leq 17$;
 326) $x_{0,0} \leq 1$;
 327) $x_{1,0} \leq 1$;
 328) $x_{2,0} \leq 1$;
 329) $x_{3,0} \leq 1$;
 330) $x_{4,0} \leq 1$;
 331) $x_{5,0} \leq 1$;
 332) $x_{6,0} \leq 1$;
 333) $x_{7,0} \leq 1$;
 334) $x_{8,0} \leq 1$;
 335) $x_{9,0} \leq 1$;
 336) $x_{10,0} \leq 1$;
 337) $x_{11,0} \leq 1$;
 338) $x_{12,0} \leq 1$;
 339) $x_{13,0} \leq 1$;
 340) $x_{14,0} \leq 1$;
 341) $x_{15,0} \leq 1$;
 342) $x_{16,0} \leq 1$;
 343) $x_{17,0} \leq 1$;
 344) $x_{0,1} \leq 1$;

- 345) $x_{1.1} \leq 1$;
- 346) $x_{2.1} \leq 1$;
- 347) $x_{3.1} \leq 1$;
- 348) $x_{4.1} \leq 1$;
- 349) $x_{5.1} \leq 1$;
- 350) $x_{6.1} \leq 1$;
- 351) $x_{7.1} \leq 1$;
- 352) $x_{8.1} \leq 1$;
- 353) $x_{9.1} \leq 1$;
- 354) $x_{10.1} \leq 1$;
- 355) $x_{11.1} \leq 1$;
- 356) $x_{12.1} \leq 1$;
- 357) $x_{13.1} \leq 1$;
- 358) $x_{14.1} \leq 1$;
- 359) $x_{15.1} \leq 1$;
- 360) $x_{16.1} \leq 1$;
- 361) $x_{17.1} \leq 1$;
- 362) $x_{0.2} \leq 1$;
- 363) $x_{1.2} \leq 1$;
- 364) $x_{2.2} \leq 1$;
- 365) $x_{3.2} \leq 1$;
- 366) $x_{4.2} \leq 1$;
- 367) $x_{5.2} \leq 1$;
- 368) $x_{6.2} \leq 1$;
- 369) $x_{7.2} \leq 1$;
- 370) $x_{8.2} \leq 1$;
- 371) $x_{8.2} \leq 1$;
- 372) $x_{10.2} \leq 1$;
- 373) $x_{11.2} \leq 1$;
- 374) $x_{12.2} \leq 1$;
- 375) $x_{13.2} \leq 1$;
- 376) $x_{14.2} \leq 1$;
- 377) $x_{15.2} \leq 1$;
- 378) $x_{16.2} \leq 1$;
- 379) $x_{17.2} \leq 1$;
- 380) $x_{0.3} \leq 1$;
- 381) $x_{1.3} \leq 1$;
- 382) $x_{2.3} \leq 1$;
- (...)
- 649) $x_{17.17} \leq 1$;
- 650) $x_{0.0} \geq 0$;
- 651) $x_{1.0} \geq 0$;
- 652) $x_{2.0} \geq 0$;
- 653) $x_{3.0} \geq 0$;

654) $x_{4.0} \geq 0$;
 655) $x_{5.0} \geq 0$;
 656) $x_{6.0} \geq 0$;
 657) $x_{7.0} \geq 0$;
 658) $x_{8.0} \geq 0$;
 659) $x_{9.0} \geq 0$;
 660) $x_{10.0} \geq 0$;
 661) $x_{11.0} \geq 0$;
 662) $x_{12.0} \geq 0$;
 663) $x_{13.0} \geq 0$;
 664) $x_{14.0} \geq 0$;
 665) $x_{15.0} \geq 0$;
 666) $x_{16.0} \geq 0$;
 667) $x_{17.0} \geq 0$;
 668) $x_{0.1} \geq 0$;
 669) $x_{1.1} \geq 0$;
 670) $x_{2.1} \geq 0$;
 671) $x_{3.1} \geq 0$;
 672) $x_{4.1} \geq 0$;
 673) $x_{5.1} \geq 0$;
 674) $x_{6.1} \geq 0$;
 675) $x_{7.1} \geq 0$;
 676) $x_{8.1} \geq 0$;
 677) $x_{9.1} \geq 0$;
 678) $x_{10.1} \geq 0$;
 679) $x_{11.1} \geq 0$;
 680) $x_{12.1} \geq 0$;
 681) $x_{13.1} \geq 0$;
 682) $x_{14.1} \geq 0$;
 683) $x_{15.1} \geq 0$;
 684) $x_{16.1} \geq 0$;
 685) $x_{17.1} \geq 0$;
 686) $x_{0.2} \geq 0$;
 687) $x_{1.2} \geq 0$;
 688) $x_{2.2} \geq 0$;
 689) $x_{3.2} \geq 0$;
 690) $x_{4.2} \geq 0$;
 691) $x_{5.2} \geq 0$;
 (...)
 973) $x_{17.17} \geq 0$;

2.10 SOLUCIÓN DEL PLANTEAMIENTO MATEMÁTICO CON EL PROGRAMA GUSEK

Los modelos utilizados en GUSEK están diseñados en el lenguaje de programación GLPK (GNU Linear Programming Kit) paquete que está programado para resolver problemas de programación lineal de grandes proporciones y programación entera mixta, se trata de un conjunto de rutinas escritas en ANSI C y organizada en la forma de una biblioteca exigible.

El paquete GLPK incluye los siguientes componentes principales:

- Métodos simplex primal y dual
- Método Primal-dual de punto interior
- Método Branch-and-cut
- Traductor para GNU MathProg
- Aplicación interfaz de programación (API)
- Solucionador independiente LP / MIP⁵⁰

El problema del viajante (TSP) formulado en el programa Gusek plantea lo siguiente, se deja un grafo dirigido $G = (V, E)$, donde $V = \{1, \dots, n\}$ es un conjunto de nodos, $E \subseteq V \times V$ que son un conjunto de arcos y cada a arco $e = (i, j)$ se le asigna un número $c[i, j]$, que es la longitud del arco. El problema es encontrar un camino cerrado de longitud mínima a través de cada nodo de G exactamente una vez. En la figura 18 y 19 se describe el modelamiento utilizado para mejorar el sistema de ruteo utilizado por Alimentos José A LTDA. Las figuras 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 y 27 hacen referencia a las distancias que se pueden utilizar para ir de un punto de venta a otro.

⁵⁰<http://spokutta.wordpress.com/the-gnu-linear-programming-kit-glpk/>

Figura 18. Modelamiento en Gusek I

```

File Edit Search View Tools Options Language Buffers Help
1 tsp_obleas.mod
12 param n, integer, >= 1;
13 /* número de nodos */
14
15 set V := 1..n;
16 /* conjunto de nodos */
17
18 set E, within V cross V;
19 /* conjunto de arcos */
20
21 param c{(i,j) in E};
22 /* distancia desde el nodo i al nodo j */
23
24 var x{(i,j) in E}, binary;
25 /* x[i,j] = 1 significa que va desde el nodo i al nodo j */
26
27 minimize total: sum{(i,j) in E} c[i,j] * x[i,j];
28 /* el objetivo es hacer que la longitud del camino sea lo más corta ↵
29    ↵ posible */
30
31 s.t. leave{i in V}: sum{(i,j) in E} x[i,j] = 1;
32 /* se deja a cada nodo i exactamente una vez */
33
34 s.t. enter{j in V}: sum{(i,j) in E} x[i,j] = 1;
35 /* se entra en cada nodo j exactamente una vez */
36 - /* las limitaciones anteriores no son suficientes para describir ↵
37    ↵ recorridos validos
38    ↵ por lo que se debe agregar restricciones para eliminar subtour; se ↵
39    ↵ debe vender
40    ↵ n mercancía en todos los nodos, así se tendrá que pasar por todos ↵
41    ↵ los nodos. */
42
43 var y{(i,j) in E}, >= 0;
44 - /* y[i,j] es n mercancía que el se tiene al salir del nodo i y antes de
45    ↵ entarr al nodo j */

```

Fuente: Gusek 0.2.12

Figura 19. Modelamiento en Gusek II

```

File Edit Search View Tools Options Language Buffers Help
[Icons]
1 tsp_obleas.mod
45 s.t. cap{(i,j) in E}: y[i,j] <= (n-1) * x[i,j];
46 - /* si el arco (i,j) no pertenece al recorrido, su capacidad de
47     debe ser cero; es evidente que a la salida de un nodo, es suficiente
48     tener no más de n-1 mercancía */
49
50 s.t. node{i in V}:
51 /* nodo [i] es una restricción de conservación para el nodo i */
52
53 ..... sum{(j,i) in E} y[j,i]
54 ..... /* resumen de flujo en el nodo i todos los arcos entrantes */
55
56 - ..... + (if i = 1 then n)
57 ..... /* n mercancía que se adquiere a partir del nodo */
58
59 ..... = /* debe ser igual a */
60
61 ..... sum{(i,j) in E} y[i,j]
62 ..... /* Resumen de flujos del nodo i a través de todos los arcos de
63 salida */
64 ..... + 1;
65 ..... /* más una mercancía que se vende en el nodo i */
66
67 solve;
68
69 printf "Optimal tour has length %d\n",
70 ..... sum{(i,j) in E} c[i,j] * x[i,j];
71 printf "From node ... To node ... Distance\n";
72 printf {(i,j) in E: x[i,j]} "..... %3d ..... %3d ..... %8g\n",
73 ..... i, j, c[i,j];

```

Fuente: Gusek 0.2.12

Figura 20. Distancias de un punto de venta a otro I

```

C:\Documents and Settings\...
File Edit Search View Tools
1 tsp_obleas.mod

74 data;
75
76 param n := 18;
77
78 param : E : c :=
79 ... 1 2 ... 5.6
80 ... 1 3 ... 4.6
81 ... 1 4 ... 2.8
82 ... 1 5 ... 2.6
83 ... 1 6 ... 15.5
84 ... 1 7 ... 11.5
85 ... 1 8 ... 11
86 ... 1 9 ... 12.7
87 ... 1 10 ... 11.1
88 ... 1 11 ... 14.6
89 ... 1 12 ... 12.7
90 ... 1 13 ... 9.8
91 ... 1 14 ... 11.4
92 ... 1 15 ... 14.1
93 ... 1 16 ... 15.8
94 ... 1 17 ... 17.3
95 ... 1 18 ... 25.1
96 ... 2 1 ... 7.9
97 ... 2 3 ... 9.3
98 ... 2 4 ... 4.4
99 ... 2 5 ... 4.8
100 ... 2 6 ... 11.4
101 ... 2 7 ... 10.2
102 ... 2 8 ... 11.3
103 ... 2 9 ... 13.5
104 ... 2 10 ... 11.3
105 ... 2 11 ... 18.6
106 ... 2 12 ... 13.1
107 ... 2 13 ... 12.6
108 ... 2 14 ... 14.7

```

Fuente: Gusek 0.2.12

Figura 21. Distancias de un punto de venta a otro II

```

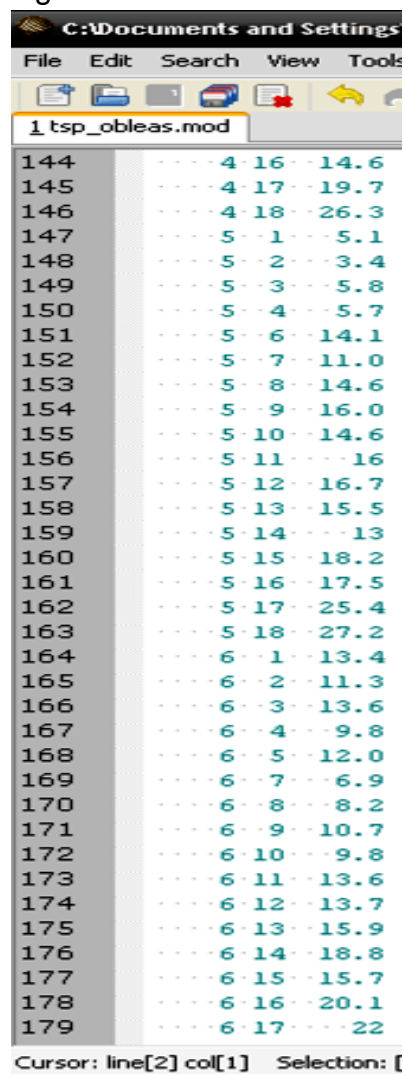
C:\Documents and Settings\...
File Edit Search View Too
1 tsp_obleas.mod

109 ... 2 15 ... 19.9
110 ... 2 16 ... 19.1
111 ... 2 17 ... 26.8
112 ... 2 18 ... 32.3
113 ... 3 1 ... 6.9
114 ... 3 2 ... 6.8
115 ... 3 4 ... 7.1
116 ... 3 5 ... 3.7
117 ... 3 6 ... 17.7
118 ... 3 7 ... 12.3
119 ... 3 8 ... 15.9
120 ... 3 9 ... 17.3
121 ... 3 10 ... 16
122 ... 3 11 ... 17.3
123 ... 3 12 ... 18
124 ... 3 13 ... 16.8
125 ... 3 14 ... 14.8
126 ... 3 15 ... 19.5
127 ... 3 16 ... 19.3
128 ... 3 17 ... 25.8
129 ... 3 18 ... 29
130 ... 4 1 ... 4.1
131 ... 4 2 ... 3.4
132 ... 4 3 ... 4.3
133 ... 4 5 ... 2.7
134 ... 4 6 ... 14.3
135 ... 4 7 ... 6.3
136 ... 4 8 ... 9.9
137 ... 4 9 ... 11.2
138 ... 4 10 ... 9.9
139 ... 4 11 ... 10.4
140 ... 4 12 ... 11.2
141 ... 4 13 ... 8.5
142 ... 4 14 ... 10.1
143 ... 4 15 ... 12.5
144 ... 4 16 ... 14.6

```

Fuente: Gusek 0.2.12

Figura 22. Distancias de un punto de venta a otro III

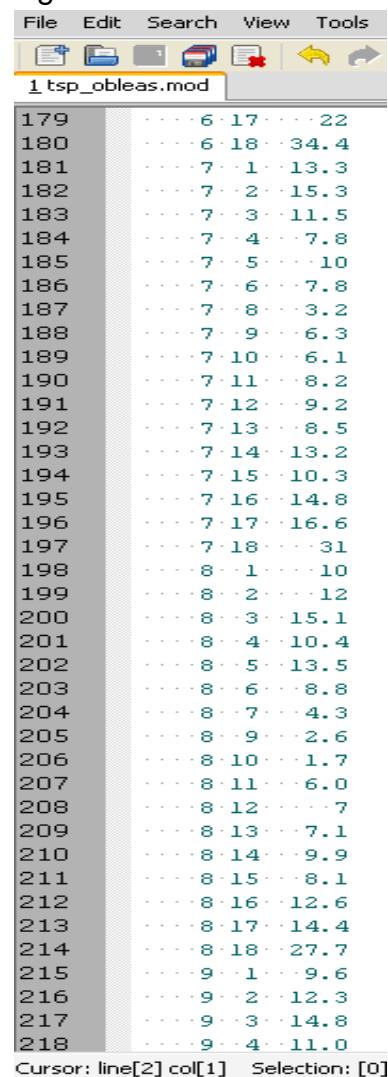


Line	Col 1	Col 2	Col 3
144	4	16	14.6
145	4	17	19.7
146	4	18	26.3
147	5	1	5.1
148	5	2	3.4
149	5	3	5.8
150	5	4	5.7
151	5	6	14.1
152	5	7	11.0
153	5	8	14.6
154	5	9	16.0
155	5	10	14.6
156	5	11	16
157	5	12	16.7
158	5	13	15.5
159	5	14	13
160	5	15	18.2
161	5	16	17.5
162	5	17	25.4
163	5	18	27.2
164	6	1	13.4
165	6	2	11.3
166	6	3	13.6
167	6	4	9.8
168	6	5	12.0
169	6	7	6.9
170	6	8	8.2
171	6	9	10.7
172	6	10	9.8
173	6	11	13.6
174	6	12	13.7
175	6	13	15.9
176	6	14	18.8
177	6	15	15.7
178	6	16	20.1
179	6	17	22

Cursor: line[2] col[1] Selection: [

Fuente: Gusek 0.2.12

Figura 23. Distancias de un punto de venta a otro IV

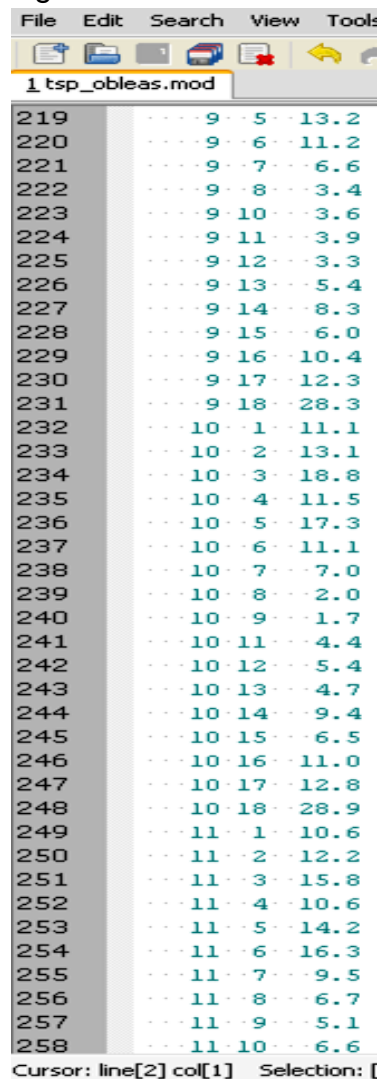


Line	Col 1	Col 2	Col 3
179	6	17	22
180	6	18	34.4
181	7	1	13.3
182	7	2	15.3
183	7	3	11.5
184	7	4	7.8
185	7	5	10
186	7	6	7.8
187	7	8	3.2
188	7	9	6.3
189	7	10	6.1
190	7	11	8.2
191	7	12	9.2
192	7	13	8.5
193	7	14	13.2
194	7	15	10.3
195	7	16	14.8
196	7	17	16.6
197	7	18	31
198	8	1	10
199	8	2	12
200	8	3	15.1
201	8	4	10.4
202	8	5	13.5
203	8	6	8.8
204	8	7	4.3
205	8	9	2.6
206	8	10	1.7
207	8	11	6.0
208	8	12	7
209	8	13	7.1
210	8	14	9.9
211	8	15	8.1
212	8	16	12.6
213	8	17	14.4
214	8	18	27.7
215	9	1	9.6
216	9	2	12.3
217	9	3	14.8
218	9	4	11.0

Cursor: line[2] col[1] Selection: [0]

Fuente: Gusek 0.2.12

Figura 24. Distancias de un punto de venta a otro V

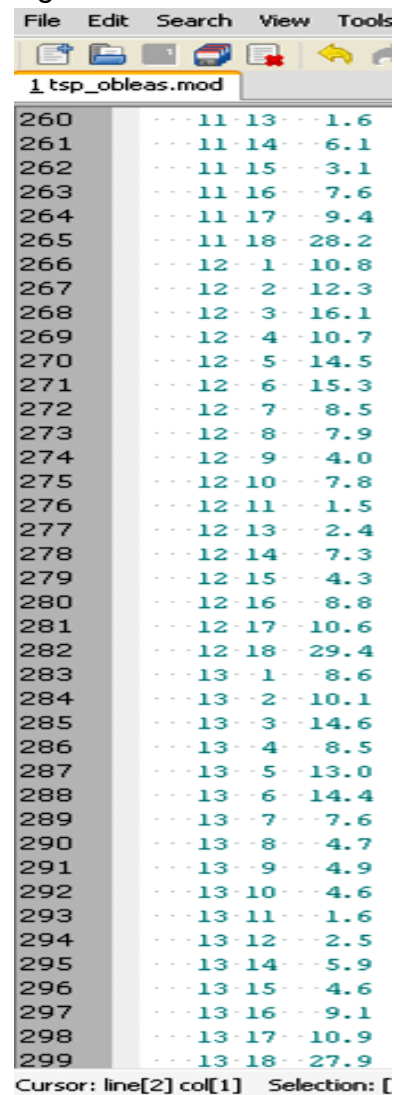


219	9	5	13.2
220	9	6	11.2
221	9	7	6.6
222	9	8	3.4
223	9	10	3.6
224	9	11	3.9
225	9	12	3.3
226	9	13	5.4
227	9	14	8.3
228	9	15	6.0
229	9	16	10.4
230	9	17	12.3
231	9	18	28.3
232	10	1	11.1
233	10	2	13.1
234	10	3	18.8
235	10	4	11.5
236	10	5	17.3
237	10	6	11.1
238	10	7	7.0
239	10	8	2.0
240	10	9	1.7
241	10	11	4.4
242	10	12	5.4
243	10	13	4.7
244	10	14	9.4
245	10	15	6.5
246	10	16	11.0
247	10	17	12.8
248	10	18	28.9
249	11	1	10.6
250	11	2	12.2
251	11	3	15.8
252	11	4	10.6
253	11	5	14.2
254	11	6	16.3
255	11	7	9.5
256	11	8	6.7
257	11	9	5.1
258	11	10	6.6

Cursor: line[2] col[1] Selection: [

Fuente: Gusek 0.2.1

Figura 25. Distancias de un punto de venta a otro VI



260	11	13	1.6
261	11	14	6.1
262	11	15	3.1
263	11	16	7.6
264	11	17	9.4
265	11	18	28.2
266	12	1	10.8
267	12	2	12.3
268	12	3	16.1
269	12	4	10.7
270	12	5	14.5
271	12	6	15.3
272	12	7	8.5
273	12	8	7.9
274	12	9	4.0
275	12	10	7.8
276	12	11	1.5
277	12	13	2.4
278	12	14	7.3
279	12	15	4.3
280	12	16	8.8
281	12	17	10.6
282	12	18	29.4
283	13	1	8.6
284	13	2	10.1
285	13	3	14.6
286	13	4	8.5
287	13	5	13.0
288	13	6	14.4
289	13	7	7.6
290	13	8	4.7
291	13	9	4.9
292	13	10	4.6
293	13	11	1.6
294	13	12	2.5
295	13	14	5.9
296	13	15	4.6
297	13	16	9.1
298	13	17	10.9
299	13	18	27.9

Cursor: line[2] col[1] Selection: [

Fuente: Gusek 0.2.1

Figura 26. Distancias de un punto de venta a otro VII

File Edit Search View Tools			
1 tsp_obleas.mod			
299	...	13 18	27.9
300	...	14 1	11.7
301	...	14 2	13.2
302	...	14 3	15.8
303	...	14 4	11.6
304	...	14 5	14.3
305	...	14 6	20.1
306	...	14 7	13.3
307	...	14 8	9.8
308	...	14 9	11.3
309	...	14 10	9.7
310	...	14 11	5.6
311	...	14 12	6.4
312	...	14 13	5.7
313	...	14 15	4.6
314	...	14 16	4.7
315	...	14 17	5.8
316	...	14 18	29.3
317	...	15 1	13
318	...	15 2	14.5
319	...	15 3	20.6
320	...	15 4	12.9
321	...	15 5	19.1
322	...	15 6	20.4
323	...	15 7	13.6
324	...	15 8	10.8
325	...	15 9	10.9
326	...	15 10	10.7
327	...	15 11	2.8
328	...	15 12	4.0
329	...	15 13	6.7
330	...	15 14	5.4
331	...	15 16	4.8
332	...	15 17	6.6
333	...	15 18	30.6
334	...	16 1	14
335	...	16 2	15.9
336	...	16 3	22.2
337	...	16 4	14.3
338	...	16 5	20.6

Cursor: line[2] col[1] Selection: [

Fuente: Gusek 0.2.12

Figura 27. Distancias de un punto de venta a otro VIII

File Edit Search View Tools			
1 tsp_obleas.mod			
353	...	17 3	21.0
354	...	17 4	17.3
355	...	17 5	19.5
356	...	17 6	20.9
357	...	17 7	14.0
358	...	17 8	11.2
359	...	17 9	11.4
360	...	17 10	11.1
361	...	17 11	7.3
362	...	17 12	8.0
363	...	17 13	7.1
364	...	17 14	4.8
365	...	17 15	6.1
366	...	17 16	1.2
367	...	17 18	34.3
368	...	18 1	22.7
369	...	18 2	27.9
370	...	18 3	25.0
371	...	18 4	26.2
372	...	18 5	24.7
373	...	18 6	35.7
374	...	18 7	28.6
375	...	18 8	28.1
376	...	18 9	29.8
377	...	18 10	28.1
378	...	18 11	31.6
379	...	18 12	32.6
380	...	18 13	26.9
381	...	18 14	28.4
382	...	18 15	33.8
383	...	18 16	32.9
384	...	18 17	40.1
385	;		
386			
387	end;		
388			

Cursor: line[2] col[1] Selection: [

Fuente: Gusek 0.2.12

Figura 28. Solución con el software Gusek 0.2.12

```

File Edit Search View Tools Options Language Buffers Help
1 tsp_obleas.mod
>C:\Documents and Settings\Administrador\Mis documentos\Gusek\gusek\g
GLPSOL: GLPK LP/MIP Solver, v4.45
Parameter(s) specified in the command line:
--cover --clique --gomory --mir -m tsp_obleas.mod
Reading model section from tsp_obleas.mod...
Reading data section from tsp_obleas.mod...
387 lines were read
Generating total...
Generating leave...
Generating enter...
Generating cap...
Generating node...
Model has been successfully generated
GLPK Integer Optimizer, v4.45
361 rows, 612 columns, 2142 non-zeros
306 integer variables, all of which are binary
Preprocessing...
360 rows, 612 columns, 1836 non-zeros
306 integer variables, all of which are binary
Scaling...
A: min|aij| = 1.000e+000 max|aij| = 1.700e+001 ratio = 1.700e+001
GM: min|aij| = 9.567e-001 max|aij| = 1.045e+000 ratio = 1.093e+000
EQ: min|aij| = 9.153e-001 max|aij| = 1.000e+000 ratio = 1.093e+000
2N: min|aij| = 1.000e+000 max|aij| = 1.063e+000 ratio = 1.063e+000
Constructing initial basis...
Size of triangular part = 358
Solving LP relaxation...
GLPK Simplex Optimizer, v4.45
360 rows, 612 columns, 1836 non-zeros
0: obj = -5.100000000e+001 infeas = 3.120e+002 (2)
* 80: obj = 1.517529412e+002 infeas = 6.661e-016 (2)
* 253: obj = 1.073588235e+002 infeas = 5.967e-016 (2)
OPTIMAL SOLUTION FOUND
Integer optimization begins...
Gomory's cuts enabled
MIR cuts enabled
Cover cuts enabled
Clique cuts enabled
Creating the conflict graph...
The conflict graph has 2*306 vertices and 5202 edges
+ 253: mip = not found yet >= -inf (1; 0)
Cuts on level 0: gmi = 7; mir = 20;
Cuts on level 7: gmi = 7; mir = 20;
+ 1324: >>>> 1.123000000e+002 >= 1.122308795e+002 < 0.1% (8; 0)
+ 1349: mip = 1.123000000e+002 >= tree is empty 0.0% (0; 15)
INTEGER OPTIMAL SOLUTION FOUND
Time used: 0.8 secs
Memory used: 2.4 Mb (2511124 bytes)
Optimal tour has length 112
From node To node Distance
1 4 2.8
2 6 11.4
3 5 3.7
4 3 4.3
5 2 3.4
6 7 6.9
7 8 3.2
8 10 1.7
9 12 3.3
10 9 1.7
11 15 3.1
12 13 2.4
13 11 1.6
14 18 29.3
15 16 4.8
16 17 1.2
17 14 4.8
18 1 22.7
Model has been successfully processed
>Exit code: 0 Time: 1.111
rsor: line[2] col[1] Selection: [0]lines [0]chars [INS][CR+LF] File: tsp_obleas.mod, 388 lines

```

Fuente: Gusek 0.2.12

En la figura 28 se aprecia la solución que el software Gusek 0.2.12 presenta, en la parte superior de la imagen se detalla el lenguaje de programación así como la verificación de que el modelo no presente errores; en la parte inferior con azul se muestra la distancia óptima encontrada y la secuencia, para mejorar el entendimiento en la tabla 14 se detalla la secuencia, el tiempo y el kilometraje por cada punto de venta y total, el resultado hallado es de 112.3 kilómetros disminuyendo en 36.7 kilómetros con respecto al sistema utilizado en la empresa, el tiempo de abastecimiento también se reduce 70 minutos como se especifica en la tabla 15, en la figura 29 se aprecia el mapa con la ruta propuesta.

Tabla 14. Secuencia de abastecimiento según Gusek

	Punto de venta	Tiempo promedio (h:m)	Km promedio
A, S	Bodega		
B	Av. Dorado	14	2,8
C	Aeropuerto	9	4,3
D	Modelia	11	3,7
E	Terminal	11	3,4
F	Candelaria	33	11,4
G	Galerías	21	6,9
H	Nogal	14	3,2
I	Country	6	1,7
J	Chico	12	1,7
K	Unicentro	10	3,3
L	Alhambra	11	2,4
M	Santa Bárbara	9	1,6
N	Nueva Autopista	9	3,1
O	Villa del prado	12	4,8
P	HC. 170	7	1,2
Q	Colina	13	4,8
R	La punta	46	29,3
A,S	Bodega	50	22,7
Total		4:58	112,3

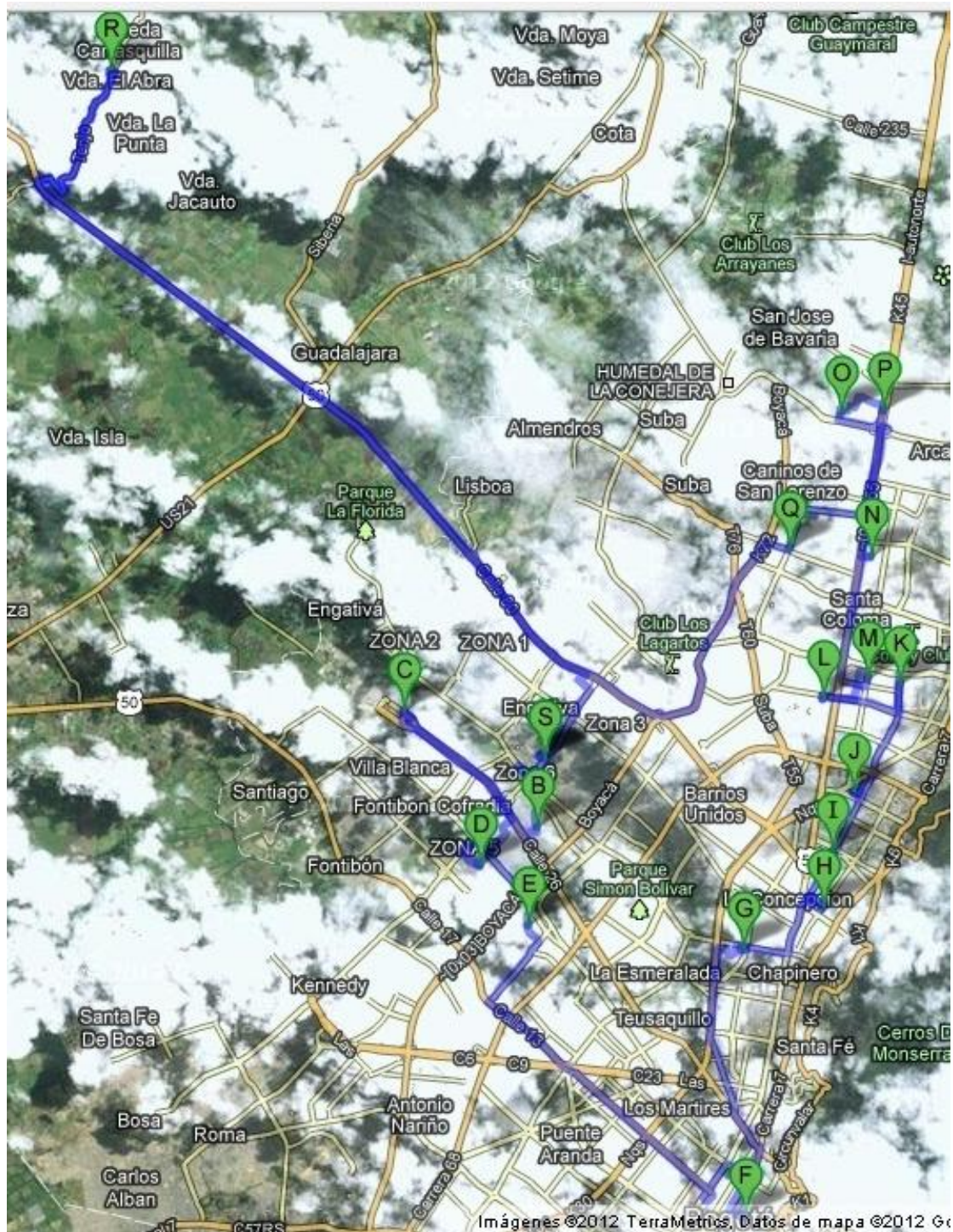
Fuente: El autor. 2012

Tabla 15. Comparación según Gusek

	Kilómetros	Diferencia	Tiempo minutos	diferencia
Ruta 1	149	36,7	368	70
Ruta 2	150	37,7	370	72
Ruta Guseck	112,3	-	298	-

Fuente: El autor. 2012

Figura 29. Mapa con la ruta hallada en Guseck

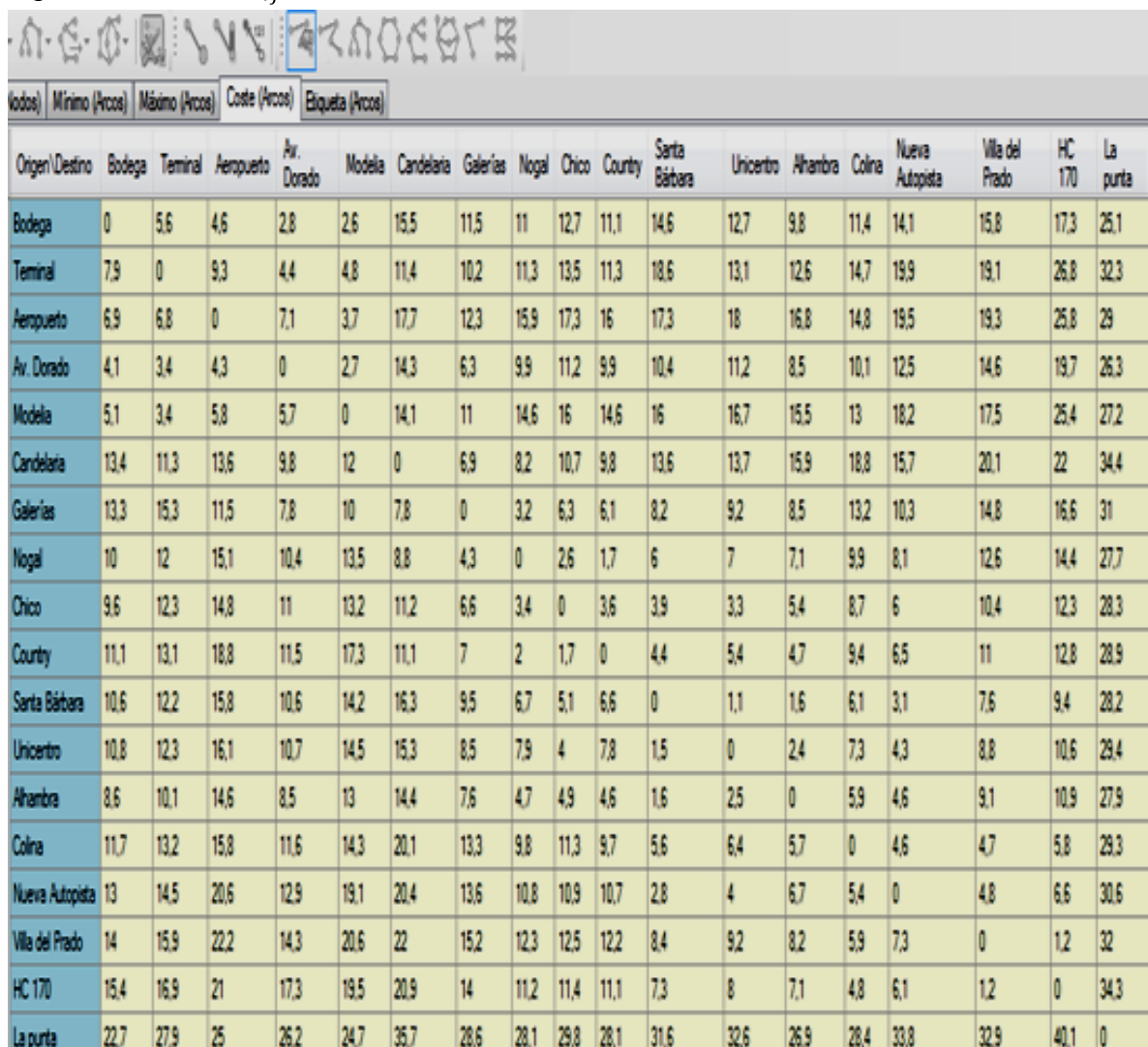


Fuente: El autor. 2012.

2.11 SOLUCIÓN EN GRAFOS 1.3.5

Este software pretende ser de utilidad para la docencia y el aprendizaje en la teoría de grafos (Graph theory) y otras disciplinas relacionadas como la ingeniería de organización industrial, logística, transporte, investigación operativa, el diseño de redes, etc. Grafos se puede usar para el modelado y resolución de problemas reales de cierto tamaño y complejidad. Para modelar el problema en grafos es necesario iniciar en modo de edición tabular para diseñar la matriz x_{ij} , como se muestra en la figura 30. Grafos presenta la opción de modelar en un entorno grafico como se detalla en la figura 31.

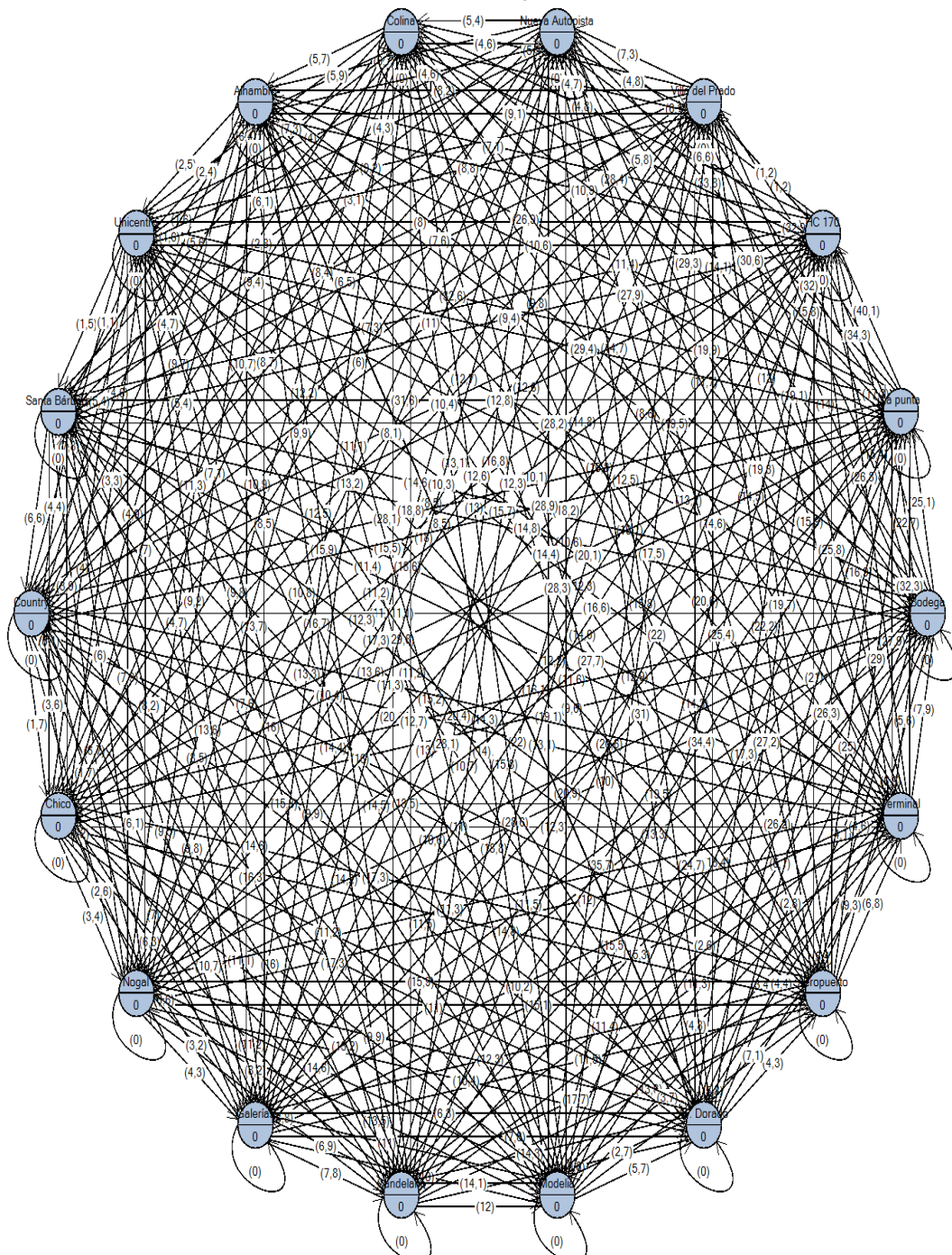
Figura 30. Matriz x_{ij} en Grafos 1.3.5



Origen/Destino	Bodega	Terminal	Aeropuerto	Av. Dorado	Modela	Candelaria	Galerías	Nogal	Chico	Country	Santa Bárbara	Unicentro	Alhambra	Colina	Nueva Autopista	Villa del Prado	HC 170	La punta
Bodega	0	5,6	4,6	2,8	2,6	15,5	11,5	11	12,7	11,1	14,6	12,7	9,8	11,4	14,1	15,8	17,3	25,1
Terminal	7,9	0	9,3	4,4	4,8	11,4	10,2	11,3	13,5	11,3	18,6	13,1	12,6	14,7	19,9	19,1	26,8	32,3
Aeropuerto	6,9	6,8	0	7,1	3,7	17,7	12,3	15,9	17,3	16	17,3	18	16,8	14,8	19,5	19,3	25,8	29
Av. Dorado	4,1	3,4	4,3	0	2,7	14,3	6,3	9,9	11,2	9,9	10,4	11,2	8,5	10,1	12,5	14,6	19,7	26,3
Modela	5,1	3,4	5,8	5,7	0	14,1	11	14,6	16	14,6	16	16,7	15,5	13	18,2	17,5	25,4	27,2
Candelaria	13,4	11,3	13,6	9,8	12	0	6,9	8,2	10,7	9,8	13,6	13,7	15,9	18,8	15,7	20,1	22	34,4
Galerías	13,3	15,3	11,5	7,8	10	7,8	0	3,2	6,3	6,1	8,2	9,2	8,5	13,2	10,3	14,8	16,6	31
Nogal	10	12	15,1	10,4	13,5	8,8	4,3	0	2,6	1,7	6	7	7,1	9,9	8,1	12,6	14,4	27,7
Chico	9,6	12,3	14,8	11	13,2	11,2	6,6	3,4	0	3,6	3,9	3,3	5,4	8,7	6	10,4	12,3	28,3
Country	11,1	13,1	18,8	11,5	17,3	11,1	7	2	1,7	0	4,4	5,4	4,7	9,4	6,5	11	12,8	28,9
Santa Bárbara	10,6	12,2	15,8	10,6	14,2	16,3	9,5	6,7	5,1	6,6	0	1,1	1,6	6,1	3,1	7,6	9,4	28,2
Unicentro	10,8	12,3	16,1	10,7	14,5	15,3	8,5	7,9	4	7,8	1,5	0	2,4	7,3	4,3	8,8	10,6	29,4
Alhambra	8,6	10,1	14,6	8,5	13	14,4	7,6	4,7	4,9	4,6	1,6	2,5	0	5,9	4,6	9,1	10,9	27,9
Colina	11,7	13,2	15,8	11,6	14,3	20,1	13,3	9,8	11,3	9,7	5,6	6,4	5,7	0	4,6	4,7	5,8	29,3
Nueva Autopista	13	14,5	20,6	12,9	19,1	20,4	13,6	10,8	10,9	10,7	2,8	4	6,7	5,4	0	4,8	6,6	30,6
Villa del Prado	14	15,9	22,2	14,3	20,6	22	15,2	12,3	12,5	12,2	8,4	9,2	8,2	5,9	7,3	0	1,2	32
HC 170	15,4	16,9	21	17,3	19,5	20,9	14	11,2	11,4	11,1	7,3	8	7,1	4,8	6,1	1,2	0	34,3
La punta	22,7	27,9	25	26,2	24,7	35,7	28,6	28,1	29,8	28,1	31,6	32,6	26,9	28,4	33,8	32,9	40,1	0

Fuente: Grafos 1.3.5

Figura 31. Interfaz gráfica de la matriz X_{ij}



Fuente: Grafos 1.3.5

La solución se presentó en forma binaria donde 1 si conviene ir del punto i al punto j ó 0 si no, después de analizar las soluciones y restricciones que presenta el modelo, el valor de la función objetivo es 112.3 kilómetros, disminuyendo el

Kilometraje en 36.7 y el tiempo en 70 minutos, grafos al estar diseñado en programación lineal presentó la misma secuencia que Guseck 0.2.12, la respuesta de grafos se interpreta en la siguiente tabla:

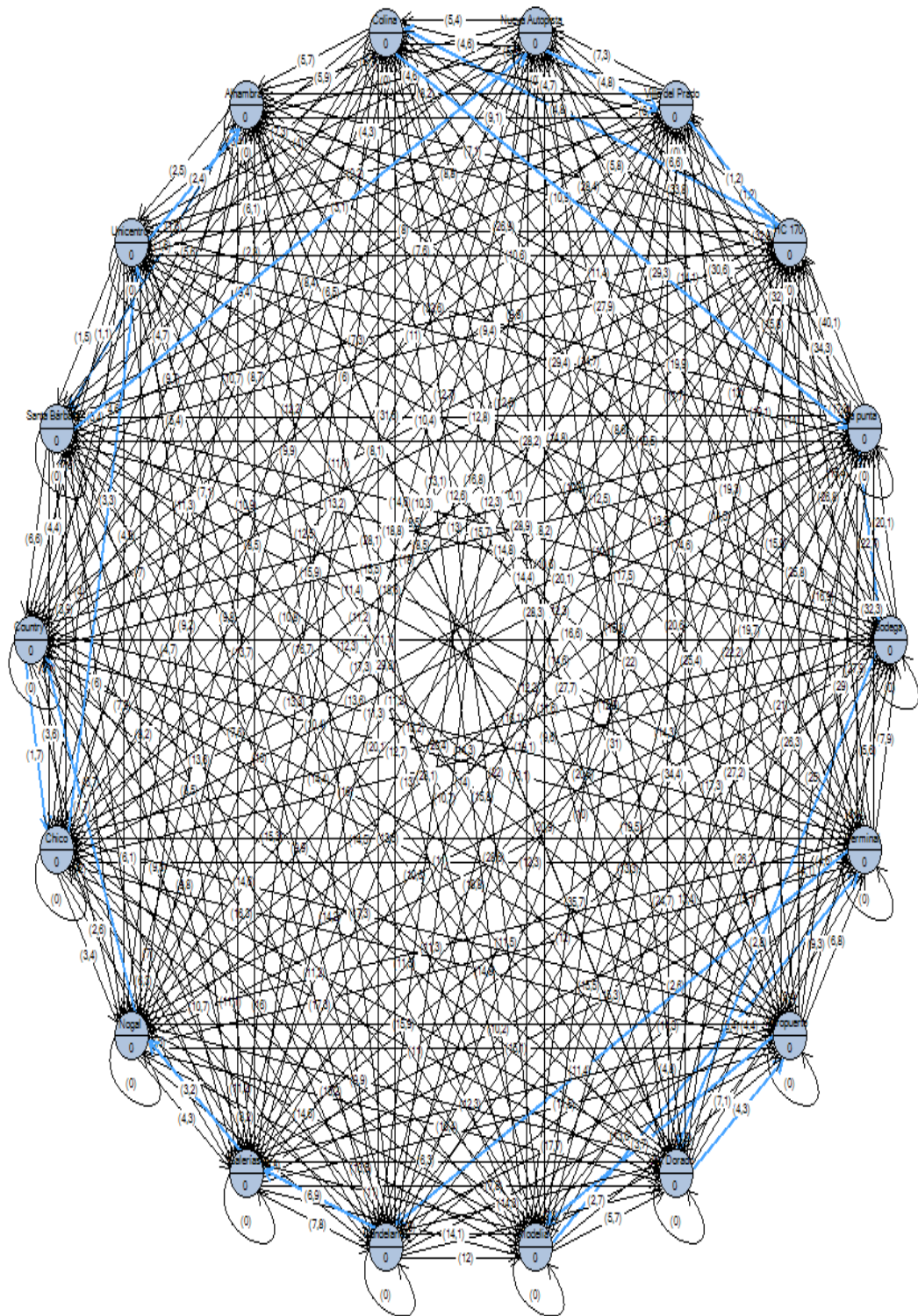
Tabla 16. Secuencia según Grafos 1.3.5

	Punto de venta	Tiempo promedio (h:m)	Km promedio
A	Bodega		
B	Av. Dorado	14	2,8
C	Aeropuerto	9	4,3
D	Modelia	11	3,7
E	Terminal	11	3,4
F	Candelaria	33	11,4
G	Galerías	21	6,9
H	Nogal	14	3,2
I	Country	6	1,7
J	Chico	12	1,7
K	Unicentro	10	3,3
L	Alhambra	11	2,4
M	Santa Bárbara	9	1,6
N	Nueva Autopista	9	3,1
O	Villa del prado	12	4,8
P	HC. 170	7	1,2
Q	Colina	13	4,8
R	La punta	46	29,3
S	Bodega	50	22,7
Total		4:58	112,3

Fuente: El autor. 2012

La secuencia presentada por grafos se analiza en las gráficas 32 y 33, donde el recorrido es señalado con azul.

Figura 33. Solución interfaz gráfica circular de la matriz X_{ij}



Fuente: Grafos 1.3.5

2.12 SOLUCIÓN POR ESCENARIOS

La planeación por escenarios supone que conocer el futuro implica contar con la incertidumbre y la falta de certeza, los actores que gestionan la planeación por escenarios se enfocan en plantear múltiples alternativas futuras a diversas situaciones; el proceso de creación de escenarios utiliza una serie de técnicas para indagar, investigar, actualizar información, definir ideas y contar relatos, en su intento de registrar los diversos eventos del futuro. La planeación por escenarios se concibe como una metodología estructurada para pensar acerca del entorno en el que las empresas operarán en el futuro y la forma que, en consecuencia, esas organizaciones tendrán que tomar decisiones.

Para establecer la viabilidad de cada escenario propuesto es necesario determinar los costos inherentes de cada situación con el fin de mejorar la toma de decisiones, a continuación se presenta una malla de costos de la empresa. La tabla 17 hace referencia al salario de los operarios mensual y anual, la tabla 18 es el portafolio detallado de Alientos José A LTDA. Donde se presenta el costo de producción, el precio de venta y la utilidad; la tabla 19 es el costo de la maquinaria y el equipo utilizado en la producción y distribución de los productos, la tabla 20 indica la importancia en los ingresos de cada máquina utilizada, así el furgón es el equipo más importante en la cadena de abastecimiento al representar una utilidad de \$18.916.345 en el proceso, el porcentaje de la columna es subjetivo, resultado del análisis previo que se llevo a cabo en la empresa, los datos de la fila ingreso por maquina resulta de la sumatoria de los porcentajes de cada columna multiplicado por el ingreso por área de la tabla 21.

Tabla 17. Salario de operarios

Nómina	Salario	Total anual
Gerente de producción	\$1.385.740	\$16.628.880
Despachos	\$947.097	\$11.365.164
Despachos	\$947.097	\$11.365.164
Masas	\$947.097	\$11.365.164
Obleas	\$1.011.674	\$12.140.088
Obleas	\$1.046.602	\$12.559.224
Obleas	\$1.133.583	\$13.602.996
Pastelería	\$1.053.950	\$12.647.400
Panadería	\$794.991	\$9.539.892
Aseo	\$295.450	\$3.545.400
Total	\$9.563.281	\$114.759.372

Fuente: El autor. 2012

Tabla 18. Portafolio de Alimentos José A Ltda.

Producto	Costo de fabricación	Precio de venta	Utilidad
Oblea x 12 Unds	\$5.399,14	\$6.599,57	\$1.200,43
Oblea x 20 Unds	\$7.331,90	\$10.165,95	\$2.834,05
Oblea x 80 Unds	\$22.327,61	\$37.163,81	\$14.836,20
Oblea x 50 Unds	\$13.954,76	\$23.300,00	\$9.345,24
Oblea (Carne de Res)	\$466,00	\$1.455,00	\$989,00
Arequipe 35 Gms	\$249,93	\$374,97	\$125,04
Arequipe 17,5 Gms	\$142,82	\$200,00	\$57,18
Arequipe 70 Gms	\$491,45	\$645,73	\$154,28
Arequipe 140 Gms	\$939,99	\$1.170,00	\$230,01
Arequipe 250 Gms	\$1.591,04	\$2.045,52	\$454,48
Arequipe 500 Gms	\$3.352,05	\$4.176,03	\$823,97
Arequipe 700 Gms	\$4.608,32	\$5.804,16	\$1.195,84
Arequipe 1000 Gms	\$6.056,34	\$8.028,17	\$1.971,83
Mora 1000 Gms	\$5.100,00	\$6.100,00	\$1.000,00
Almojábana KI	\$9.981,02	\$10.990,51	\$1.009,49
Buñuelo KI	\$6.445,83	\$9.222,92	\$2.777,09
Pan de yuca KI	\$7.527,20	\$9.763,60	\$2.236,40
Pan de bono KI	\$9.912,01	\$10.956,01	\$1.044,00
Pastel Pollo Unidad	\$909,17	\$1.104,59	\$195,42
Pastel Carne Unidad	\$1.022,77	\$1.161,39	\$138,62
Pastel Arequipe Unidad	\$485,06	\$767,53	\$282,47
Pastel Bocado Unidad	\$382,86	\$716,43	\$333,57
Corazones Caja 140 Gms	\$1.145,35	\$2.072,68	\$927,33
Corazones Paquete x 7 Uds	\$232,64	\$521,32	\$288,68
Mantecada Unidad	\$8.368,76	\$10.184,38	\$1.815,62
Mantecada 20 Gms	\$167,38	\$362,00	\$194,62
Masato x 10 Vasos	\$402,36	\$642,68	\$240,32
Masato x 10 Vasos (Garrafa)	\$4.917,60	\$7.320,80	\$2.403,20
Kumis	\$1.153,00	\$1.200,00	\$47,00

Fuente: El autor. 2012

Tabla 19. Costo maquinaria y equipo

Costo maquinaria y equipo						
Equipo	Cantidad	Valor unitario	Valor total	Cuota de salvamento	Depreciación año	Depreciación mensual
Marmita	1	\$60.251.230,0	\$60.251.230,0	\$6.025.123,0	\$5.422.610,7	\$ 451.884,2
Mezcladora	1	\$5.120.100,0	\$5.120.100,0	\$512.010,0	\$460.809,0	\$38.400,7
Rodillo	1	\$4.250.160,0	\$4.250.160,0	\$425.016,0	\$382.514,4	\$31.876,2
Horno	1	\$2.930.600,0	\$2.930.600,0	\$293.060,0	\$263.754,0	\$21.979,5
Cuarto frio	1	\$12.430.445,0	\$12.430.445,0	\$1.243.044,5	\$1.118.740,1	\$93.228,3
Licuadora	1	\$1.700.000,0	\$1.700.000,0	\$170.000,0	\$153.000,0	\$12.750,0
Oblearios	12	\$300.000,0	\$3.600.000,0	\$360.000,0	\$324.000,0	\$27.000,0
Furgón	1	\$16.850.000,0	\$16.850.000,0	\$1.685.000,0	\$1.516.500,0	\$126.375,0

Fuente: El autor. 2012

Tabla 20. Porcentaje de absorción de cada equipo.

Área	% Absorción del costo según su importancia dentro del proceso								Total
	Marmita	Mezcladora	Rodillo	Horno	Cuarto frio	Oblearios	Licuadora	Furgón	
Obleas	0%	0%	0%	0%	0%	70%	0%	30%	100%
Arequipe	70%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	30%	100%
Masas	0%	40%	0%	0%	30%	0%	0%	30%	100%
Pastelería	0%	25%	25%	0%	20%	0%	0%	30%	100%
Horneados	0%	30%	15%	25%	0%	0%	0%	30%	100%
Bebidas	15%	0%	0%	0%	30%	0%	25%	30%	100%
Ingreso por maquina	\$8.726.659	\$9.765.151	\$3.363.689	\$727.994	\$7.754.610	\$13.017.038	\$782.997	\$18.916.345	\$63.054.484

Fuente: El autor. 2012

Tabla 21. Demanda mensual e ingresos

Demanda mensual e ingresos totales			
Producto	Demanda pro. Mensual	Ingreso total ventas	Ingreso x área
Oblea x 12 Unds	521	\$3.435.076,2	Obleas
Oblea x 20 Unds	392	\$3.988.441,1	\$18.595.768,9
Oblea x 80 Unds	289	\$10.727.951,7	
Oblea x 50 Unds	2	\$46.600,0	
Oblea (Carne de Res)	273	\$397.700,0	
Arequipe 35 Gms	404	\$151.485,8	Arequipe
Arequipe 17,5 Gms	442	\$88.333,3	\$11.795.514,9
Arequipe 70 Gms	187	\$120.750,6	
Arequipe 140 Gms	99	\$116.219,5	
Arequipe 250 Gms	66	\$134.322,5	
Arequipe 500 Gms	484	\$2.021.892,1	
Arequipe 700 Gms	307	\$1.781.877,1	
Arequipe 1000 Gms	870	\$6.987.183,9	
Mora 1000 Gms	65	\$393.450,0	
Almojábana KI	279	\$3.062.688,7	Masas
Buñuelo KI	85	\$783.947,8	\$14.911.663,2
Pan de yuca KI	532	\$5.192.607,9	
Pan de bono KI	536	\$5.872.418,7	
Pastel Pollo Unidad	5.292	\$5.845.463,8	Pastelería
Pastel Carne Unidad	2.800	\$3.251.878,0	\$11.707.571,0
Pastel Arequipe Unidad	2.179	\$1.672.064,1	
Pastel Bocado Unidad	1.310	\$938.165,1	
Corazones Caja 140 Gms	468	\$970.702,79	Horneados
Corazones Paquete x 7 Uds	994	\$517.931,42	\$ 2.911.977,1
Mantecada Unidad	134	\$1.363.009,5	
Mantecada 20 Gms	167	\$60.333,33	
Masato x 10 Vasos	3.363	\$2.161.547,1	Bebidas
Masato x 10 Vasos (Garrafa)	2	\$14.641,6	\$3.131.988,7
Kumis	797	\$955.800,0	
Total		\$63.054.483,8	\$63.054.483,8

Fuente: El autor. 2012

En la malla de costos (Tabla 22) se resume el análisis financiero donde se tiene en cuenta la materia prima, salarios, mantenimiento y reparaciones de maquinaria e infraestructura, servicios públicos, el costo de la ruta, costos de administración, costos adicionales y el costo de cada máquina que interviene en la supply chain de acuerdo a su depreciación mensual calculada en la tabla 19; dicho análisis servirá para evaluar la inversión y rentabilidad de cada escenario.

Tabla 22. Malla de costos

Centos de costos	Mensual
Materia prima e insumos	\$ 2.723.214,00
coste de personal	\$ 9.563.281,00
Reparaciones.	\$ 40.881,00
Costes de mantenimientos.	\$ 175.699,00
Gas natural	\$ 14.796,00
Energía eléctrica.	\$ 325.789,00
Agua.	\$ 185.647,00
COSTOS DE RUTA	\$ 4.048.125,00
Teléfono.	\$ 70.000,00
COSTES DE TRABAJOS	\$ 947.749,50
Material de oficina.	\$ 51.797,00
Material de aseo	\$ 55.433,00
Control de plagas	\$ 66.200,00
Publicidad.	\$ 68.654,00
COSTES ADMINISTRACIÓN	\$ 242.084,00
Marmita	\$ 451.884,23
Mezcladora	\$ 38.400,75
Rodillo	\$ 31.876,20
Horno	\$ 21.979,50
Cuarto frio	\$ 93.228,34
Licuada	\$ 12.750,00
Oblearios	\$ 27.000,00
Furgón	\$ 126.375,00
COSTES CALCULADOS	\$ 803.494,01
Costos adicionales	\$ 16.563.758,00
TOTAL	\$ 34.756.768,01

Fuente: El autor. 2012

2.12.1 Escenario 1. Contratar Outsourcing: El objetivo principal de esta tercerización es apoyar el sistema utilizado para incrementar la satisfacción del cliente, las empresas deben cumplir con las siguientes políticas internas y legales para su contratación:

Cumplimiento

- Cumplir con todos los requisitos exigidos por el ministerio de transporte y de ambiente en la carga de alimentos según la resolución No. 002505 de 2004.
- Tener experiencia en el transporte de alimentos.
- Estar capacitado en manipulación de alimentos.

Capacidad

- Contar con el espacio necesario para transportar carga sin deteriorarla.

Costos

- Ofrecer bajos costos sin afectar la calidad del servicio.

En promedio empresas dedicadas al transporte de alimentos cotizaron sus servicios en \$10.000,00 por cada punto de venta como se muestra en la tabla 23, dado que utilizar un outsourcing incrementa los costos logísticos se plantean dos escenarios en el primero se dividirá el sistema en dos, donde se tendrá 8 y 9 destinos para abastecer, en el segundo se utilizará el outsourcing en solo tres puntos de venta:

a. Dividir la ruta en 8 y 9 destinos: Para determinar la distancia mínima en cada ruta, la división se realizara según el criterio m tsp, donde se diseñaran 2 rutas con p puntos de venta específicamente, para este caso el número máximo de locales de cada ruta es 9. La formulación matemática es similar al tsp, cada vehículo visitará una vez cada punto de venta y el único destino en común es la bodega donde inicia y finaliza su recorrido.

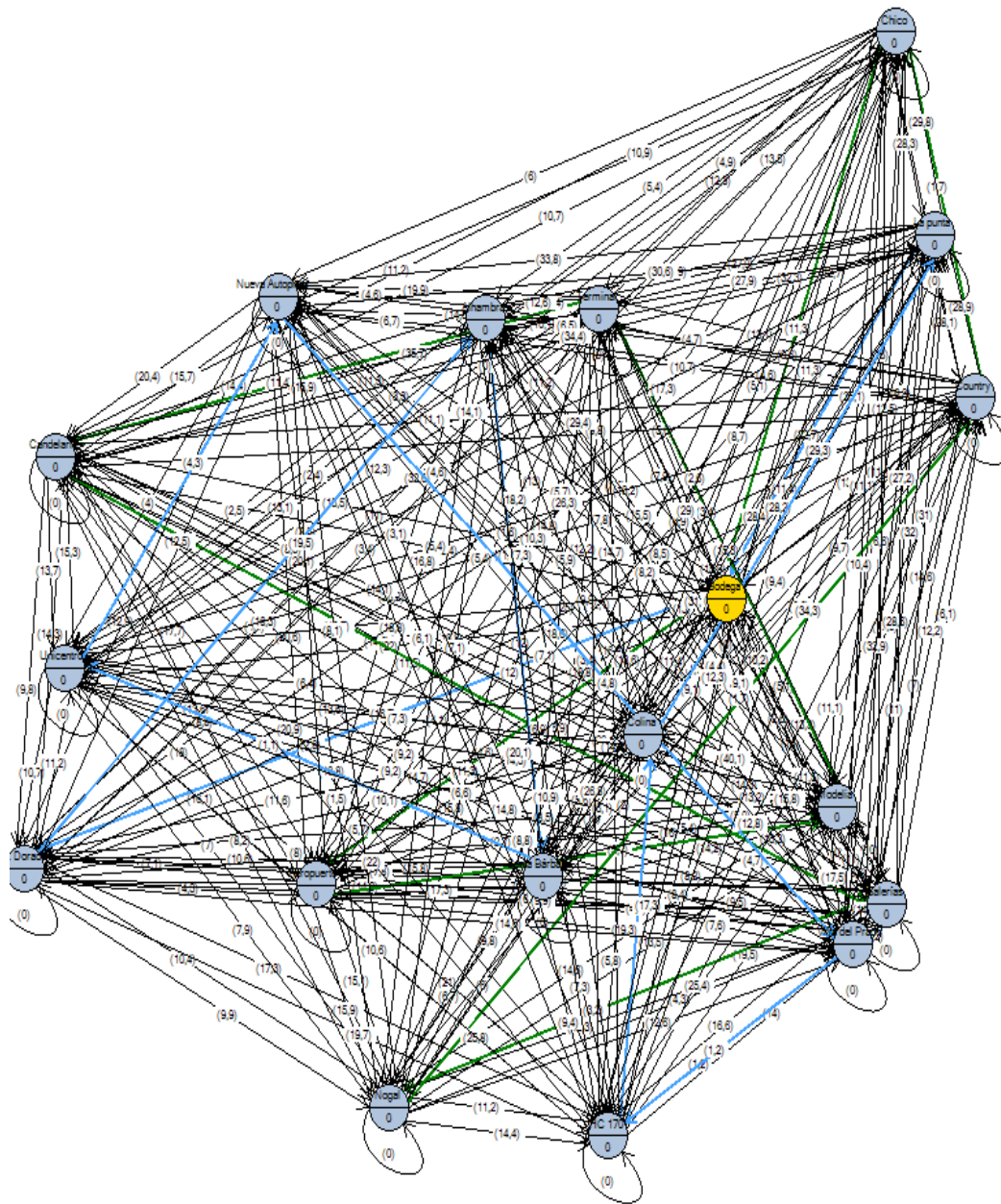
El modelo en programación lineal de m tsp tendrá la misma función objetivo y restricciones que la del modelo formulado anteriormente tsp, exceptuando algunas restricciones como las que tienen que ver con el punto de origen y final donde son igualadas a 2 por el número de rutas y las restricciones que evitan los sub-tours $\alpha_i - \alpha_j(n + 1)x_{i,j} \leq n \quad (i = 0, \dots, n, j = 1, \dots, n + 1, i \neq j)$ donde n es igual a 9 ya que este es el número máximo de almacenes que debe tener cada ruta, en la tabla 23 se presentan los costos del outsourcing y del transporte propio:

Tabla 23. Costo outsourcing

Outsourcing					Transporte propio			
No puntos de venta	Valor individual	Total acumulado	Total mensual	Total anual	Valor individual	Total acumulado	Total mensual	Total anual
1	\$10.000,0	\$10.000,0	\$300.000,00	\$3.600.000,0	\$7.937,5	\$7.937,5	\$238.125,0	\$2.857.500,0
2	\$10.000,0	\$20.000,0	\$600.000,00	\$7.200.000,0	\$7.937,5	\$15.875,0	\$476.250,0	\$5.715.000,0
3	\$10.000,0	\$30.000,0	\$900.000,00	\$10.800.000,0	\$7.937,5	\$23.812,5	\$714.375,0	\$8.572.500,0
4	\$10.000,0	\$40.000,0	\$1.200.000,0	\$14.400.000,0	\$7.937,5	\$31.750,0	\$952.500,0	\$11.430.000,0
5	\$10.000,0	\$50.000,0	\$1.500.000,0	\$18.000.000,0	\$7.937,5	\$39.687,5	\$1.190.625,0	\$14.287.500,0
6	\$10.000,0	\$60.000,0	\$1.800.000,0	\$21.600.000,0	\$7.937,5	\$47.625,0	\$1.428.750,0	\$17.145.000,0
7	\$10.000,0	\$70.000,0	\$2.100.000,0	\$25.200.000,0	\$7.937,5	\$ 55.562,5	\$1.666.875,0	\$20.002.500,0
8	\$10.000,0	\$80.000,0	\$2.400.000,0	\$28.800.000,0	\$7.937,5	\$63.500,0	\$1.905.000,0	\$22.860.000,0
9	\$10.000,0	\$90.000,0	\$2.700.000,0	\$32.400.000,0	\$7.937,5	\$71.437,5	\$2.143.125,0	\$25.717.500,0
10	\$10.000,0	\$100.000,0	\$3.000.000,0	\$36.000.000,0	\$7.937,5	\$79.375,0	\$2.381.250,0	\$28.575.000,0
11	\$10.000,0	\$110.000,0	\$3.300.000,0	\$39.600.000,0	\$7.937,5	\$87.312,5	\$2.619.375,0	\$31.432.500,0
12	\$10.000,0	\$120.000,0	\$3.600.000,0	\$43.200.000,0	\$7.937,5	\$95.250,0	\$2.857.500,0	\$34.290.000,0
13	\$10.000,0	\$130.000,0	\$3.900.000,0	\$46.800.000,0	\$7.937,5	\$103.187,5	\$3.095.625,0	\$37.147.500,0
14	\$10.000,0	\$140.000,0	\$4.200.000,0	\$50.400.000,0	\$7.937,5	\$111.125,0	\$3.333.750,0	\$40.005.000,0
15	\$10.000,0	\$150.000,0	\$4.500.000,0	\$54.000.000,0	\$7.937,5	\$ 119.062,5	\$3.571.875,0	\$ 42.862.500,0
16	\$10.000,0	\$160.000,0	\$4.800.000,00	\$57.600.000,0	\$7.937,5	\$ 127.000,0	\$3.810.000,0	\$ 45.720.000,0
17	\$10.000,0	\$170.000,0	\$5.100.000,00	\$61.200.000,0	\$7.937,5	\$ 134.937,5	\$4.048.125,0	\$ 48.577.500,0
18	\$10.000,0	\$180.000,0	\$5.400.000,00	\$64.800.000,0	\$7.937,5	\$ 142.875,0	\$4.286.250,0	\$ 51.435.000,0

Fuente: El autor. 2012

Figura 34. Solución interfaz gráfica *m* TSP en Grafos



Fuente: Grafos 1.3.5

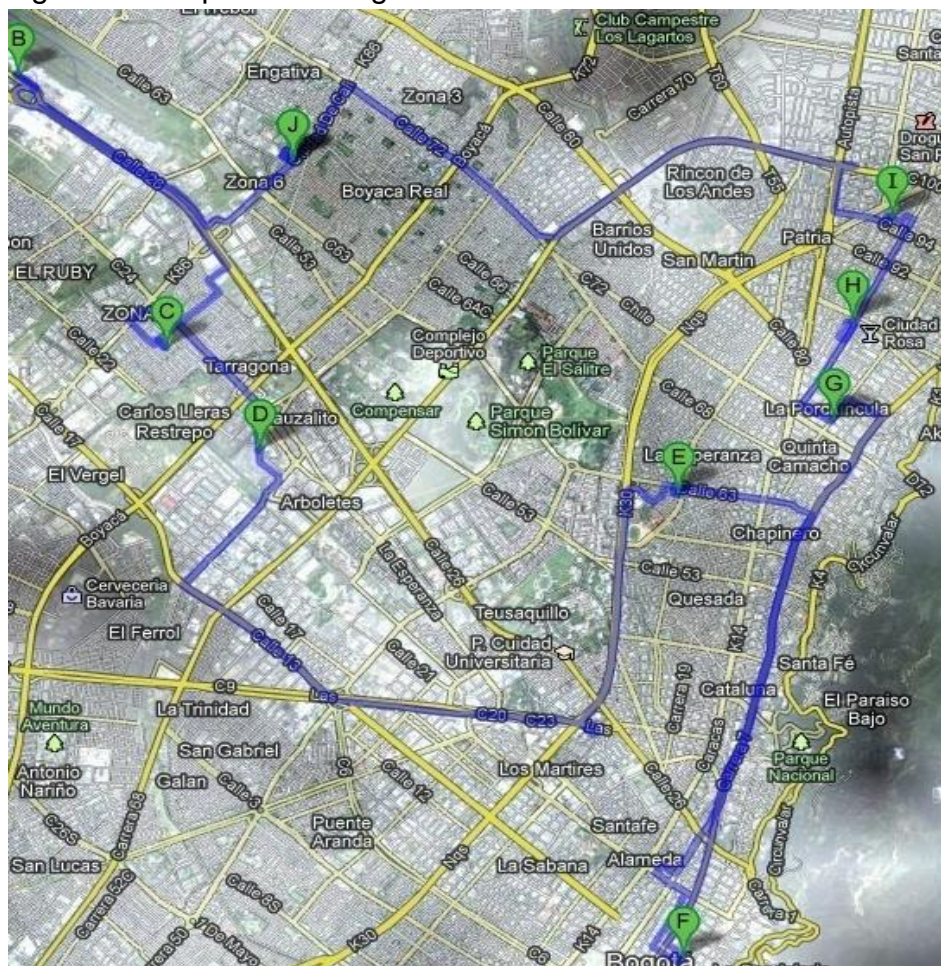
La solución que el programa propone se presenta en la figura 34, donde la ruta 1 está señalada con verde como se muestra en la tabla 24 y la ruta 2 se representa con azul como se detalla en la tabla 25.

Tabla 24. Secuencia ruta 1 Grafos.

		Tiempo promedio (h:m)	Km promedio
A	Bodega		
B	Aeropuerto	13	4,6
C	Modelia	15	3,7
D	Terminal	11	3,4
E	Galerías	26	11,4
F	Candelaria	28	6,9
G	Nogal	18	3,2
H	Country	6	1,7
I	Chico	12	1,7
J	Bodega	27	9,6
Total		2:36	46,2

Fuente: El autor. 2012

Figura 35. Mapa ruta 1 según Grafos 1.3.5



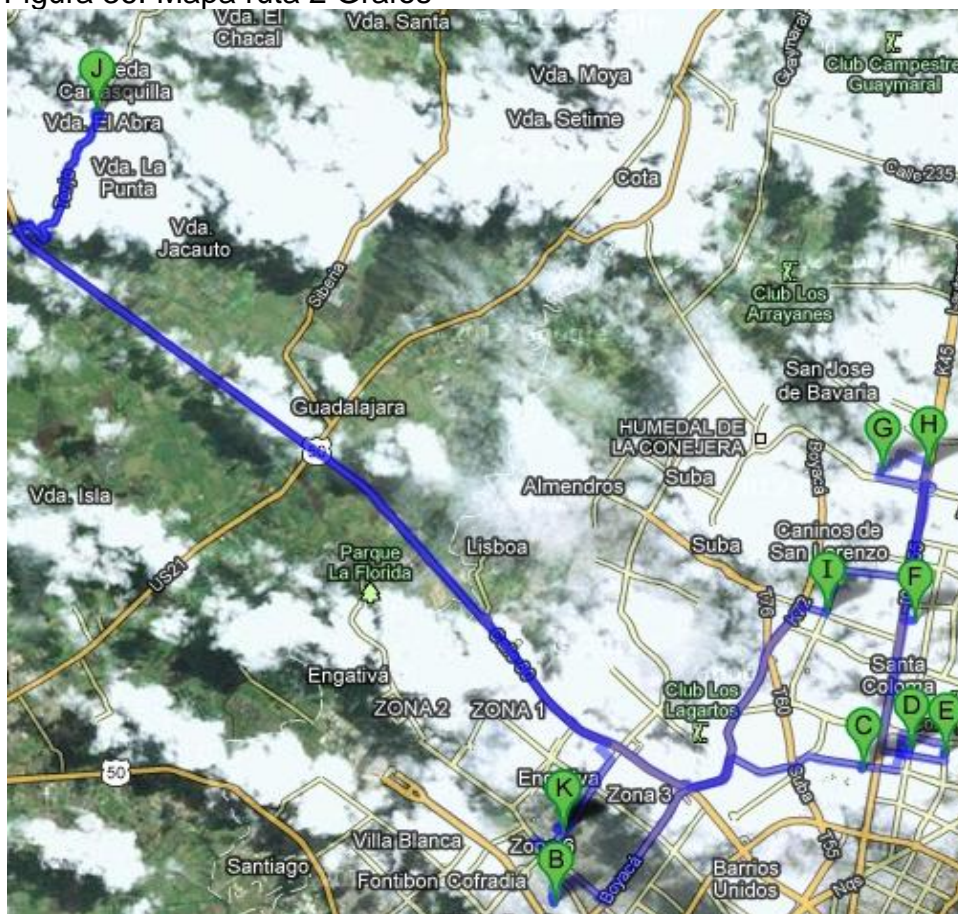
Fuente: El autor. 2012

Tabla 25. Secuencia ruta 2 Grafos.

		Tiempo promedio (h:m)	Km promedio
A	Bodega		
B	AV. Dorado	14	2,8
C	Alhambra	26	8,5
D	Santa Bárbara	10	1,6
E	Unicentro	8	1,1
F	Nueva Autopista	13	4,3
G	Villa Del Prado	14	4,8
H	HC 170	7	1,2
I	Colina	13	4,8
J	La Punta	46	29,3
k	Bodega	50	22,7
Total		3:19	81,1

Fuente: El autor. 2012

Figura 36. Mapa ruta 2 Grafos



Fuente: El autor. 2012

Al utilizar un sistema de ruteo mixto (Transporte propio y outsourcing) se incrementan los costos totales en \$16.500,00 diarios y \$495,000.00 mensuales con respecto a los costos principales de utilizar transporte propio en toda la ruta como indica la tabla 26.

Tabla 26. Costo outsourcing x 8 puntos

Centos de costos	Mensual
Materia prima e insumos	\$ 2.723.214,00
coste de personal	\$ 9.563.281,00
Reparaciones	\$ 40.881,00
Costes de mantenimientos	\$ 175.699,00
Gas natural	\$ 14.796,00
Energía eléctrica	\$ 325.789,00
Agua	\$ 185.647,00
Teléfono	\$ 70.000,00
Costos de ruta propia	\$ 2.143.125,00
Costos de outsourcing	\$ 2.400.000,00
COSTES DE TRABAJOS	\$ 964.249,50
Material de oficina	\$ 51.797,00
Material de aseo	\$ 55.433,00
Control de plagas	\$ 66.200,00
Publicidad	\$ 68.654,00
COSTES ADMINISTRACIÓN	\$ 242.084,00
Marmita	\$ 451.884,23
Mezcladora	\$ 38.400,75
Rodillo	\$ 31.876,20
Horno	\$ 21.979,50
Cuarto frío	\$ 93.228,34
Licuada	\$ 12.750,00
Oblearios	\$ 27.000,00
Furgón	\$ 126.375,00
COSTES CALCULADOS	\$ 803.494,01
costos adicionales	\$ 16.563.758,00
TOTAL	\$ 35.251.768,01
TOTAL sin outsourcing	\$ 34.756.768,01
Diferencia	\$ 495.000,00

Fuente: El autor. 2012

2.12.2 Escenario 2.Utilizar el outsourcing en los tres puntos de venta con mayor número de devoluciones como, Candelaria, Unicentro y Galerías, con el fin de bajar el índice de devoluciones y aumentar las ganancias de la compañía ya que

como se indico en la tabla de decisión estos almacenes presentan un flujo importante de ganancias. Sin estos puntos de venta en la ruta, la nueva secuencia hallada en el programa Gusek para el transporte de la empresa es:

Figura 37. Solución Guseck x 15 puntos de venta

```

Preprocessing...
255 rows, 420 columns, 1260 non-zeros
210 integer variables, all of which are binary
Scaling...
  A: min|aij| = 1.000e+000  max|aij| = 1.400e+001  ratio =
GM: min|aij| = 9.596e-001  max|aij| = 1.042e+000  ratio =
EQ: min|aij| = 9.208e-001  max|aij| = 1.000e+000  ratio =
2N: min|aij| = 8.750e-001  max|aij| = 1.000e+000  ratio =
Constructing initial basis...
Size of triangular part = 253
Solving LP relaxation...
GLPK Simplex Optimizer, v4.45
255 rows, 420 columns, 1260 non-zeros
  0: obj = -4.470000000e+001  infeas = 2.318e+002 (2%)
* 73: obj = 1.374285714e+002  infeas = 1.332e-015 (2%)
* 239: obj = 9.479285714e+001  infeas = 4.163e-016 (2%)
OPTIMAL SOLUTION FOUND
Integer optimization begins...
Gomory's cuts enabled
MIR cuts enabled
Cover cuts enabled
Clique cuts enabled
Creating the conflict graph...
The conflict graph has 2*210 vertices and 2940 edges
+ 239: mip = not found yet >= -inf
Cuts on level 0: gmi = 9; mir = 23;
Cuts on level 12: gmi = 9; mir = 23;
+ 2784: >>>> 1.057000000e+002 >= 1.042983461e+002 (
Cuts on level 1: gmi = 15; mir = 64;
+ 3185: >>>> 1.050000000e+002 >= 1.044342721e+002 (
+ 3648: mip = 1.050000000e+002 >= tree is empty (
INTEGER OPTIMAL SOLUTION FOUND
Time used: 1.2 secs
Memory used: 1.9 Mb (1975687 bytes)
Optimal tour has length 105
  From node  To node  Distance
    1         5         2.6
    2         4         4.4
    3        11        14.8
    4         3         4.3
    5         2         3.4
    6         8         1.7
    7        15        28.3
    8         7         1.7
    9        10         1.6
   10         6         4.7
   11        13         4.7
   12         9         2.8
   13        14         1.2
   14        12         6.1
   15         1        22.7
Model has been successfully processed

```

Fuente: Guseck 0.2.12

Organizando la secuencia y asignando los tiempos que tarda en ir de un punto a otro se tiene:

Tabla 27. Secuencia x 15 puntos

	Tiempo promedio (h:m)	Km promedio
Bodega		
Modelia	13	2,6
Terminal	11	3,4
Av Dorado	18	4,4
Aeropuerto	9	4,3
Colina	31	14,8
Villa Del Prado	14	4,7
Hc 170	7	1,2
Nueva Autopista	10	6,1
Santa Bárbara	13	2,8
Alhambra	7	1,6
Nogal	15	4,7
Country	6	1,7
Chico	12	1,7
La Punta	48	28,3
Bodega	50	22,7
	4:24	105

Fuente: El autor. 2012

Se plantea la siguiente secuencia diseñada por el autor para los 3 puntos de venta que serán abastecidos por el outsourcing:

Tabla 28. Secuencia x 3 puntos

	Tiempo promedio (h:m)	Km promedio
Bodega		
Candelaria	43	15.5
Galerías	21	6.9
unicetro	18	13.7
Bodega	35	10.8
Total	1:56	46.9

Fuente: El autor. 2012

Análisis: Al utilizar un outsourcing en tres puntos de venta se incrementan los costos en \$6.178,5 diarios y \$185.625,0 mensuales como se indica en la tabla 29 donde se compara el análisis financiero con y sin tercerización; el tiempo total del abastecimiento es de cuatro horas y veinticuatro minutos, disminuyendo en treinta y cuatro minutos el tiempo, de acuerdo con la secuencia propuesta para los 17 puntos de venta.

Tabla 29. Costo outsourcing x 3 puntos

Centos de costos	Mensual
Materia prima e insumos	\$ 2.723.214,00
coste de personal	\$ 9.563.281,00
Reparaciones.	\$ 40.881,00
Costes de mantenimientos.	\$ 175.699,00
Gas natural	\$ 14.796,00
Energía eléctrica.	\$ 325.789,00
Agua.	\$ 185.647,00
Teléfono.	\$ 70.000,00
Costos de ruta propia	\$ 3.333.750,00
Costos de outsourcing	\$ 900.000,00
COSTES DE TRABAJOS	\$ 5.046.562,00
Material de oficina.	\$ 51.797,00
Material de aseo	\$ 55.433,00
Control de plagas	\$ 66.200,00
Publicidad.	\$ 68.654,00
COSTES ADMINISTRACIÓN	\$ 242.084,00
Marmita	\$ 451.884,23
Mezcladora	\$ 38.400,75
Rodillo	\$ 31.876,20
Horno	\$ 21.979,50
Cuarto frio	\$ 93.228,34
Licuadaora	\$ 12.750,00
Oblearios	\$ 27.000,00
Furgón	\$ 126.375,00
COSTES CALCULADOS	\$ 803.494,01
costos adicionales	\$ 16.563.758,00
TOTAL	\$ 34.942.393,01
TOTAL sin outsourcing	\$ 34.756.768,01
Diferencia	\$ 185.625,00

Fuente: El autor. 2012

2.12.3 Escenario 3. Se analiza la implementación de un nuevo centro de acopio con el fin de reducir distancias y aumentar la respuesta y servicio al cliente. Los costos del CENDI son calculados de acuerdo a la bodega ubicada en Av. Carrera 86 No. 64-27, con el fin de manejar un promedio de costos como se detalla en la tabla 30, se observa una inversión inicial de \$15'099.568 en el primer mes, y en los siguientes períodos de acuerdo a los costos fijos 2'669.123. Es necesario implementar un cuarto frio ya que como se observo en el análisis financiero los

rubros que presentan mayor utilidad son los refrigerados (Kilo de pan de yuca, almojábana, pan de bono, buñuelo, pasteles de arequipe, carne, pollo, bocadillo, y bebidas como masato y kumis).

Tabla 30. Inversión en el nuevo CENDI

Costos	Inversión inicial	Valor mensual	Valor anual
Cuarto frío	\$12.430.445		
Arriendo	\$1.500.000	\$1.500.000	\$18.000.000
Servicios	\$130.000	\$130.000	\$1.560.000
Sueldo 1 operario	\$947.097	\$947.097	\$11.365.164
Mantenimiento	\$4.088	\$4.088	\$49.057
Transporte	\$7.938	\$7.938	\$95.250
Sistema de ruteo	\$80.000	\$80.000	\$960.000
Total	\$15.099.568	\$2.669.123	\$32.029.471

Fuente: El autor. 2012

Para evaluar el proyecto de inversión se utilizarán indicadores como el VAN y el TIR, indicadores financieros utilizados con frecuencia en el análisis de proyectos.

Valor actual neto (VAN): Consiste en traer todos los ingresos y los egresos futuros de un flujo de caja a valor presente, es decir a pesos de hoy. La diferencia entre egresos en valor presente y egresos en valor futuro nos da el valor actual neto, lo cual da lugar a tres situaciones:

- Si el valor presente de los ingresos es mayor que el valor presente de los egresos el $VAN > 0$, el proyecto es viable porque se obtiene una ganancia.
- Si el valor presente de los ingresos es menor al valor presente de los egresos el $VAN < 0$, el proyecto no es viable porque habría una pérdida.
- Si el valor presente de los ingresos es igual al valor presente de los egresos el $VAN = 0$, desde el punto de vista financiero es indiferente realizar o no el proyecto.

La tasa interna de retorno (TIR) mide la rentabilidad de un proyecto con un porcentaje determinado, financieramente la TIR es la tasa a la cual son descontados todos los flujos de caja de forma tal que los ingresos y los egresos sean ceros, en la tabla 31 se evalúa la rentabilidad del nuevo CENDI de acuerdo a estos indicadores financieros:

Tabla 31. Análisis VAN y TIR

Período	Utilidades	Impuestos	Costos	Flujo de caja neto	Flujo de caja proyectado	VAN	TIR
Período 1	\$ 63.054.484	\$ 22.069.069	\$ 39.110.017	\$ 1.875.397	\$ 3.016.017	\$ -17.037.914	
Período 2	\$ 61.320.152	\$ 21.462.053	\$ 38.034.285	\$ 1.823.814	\$ 2.933.061	\$ -14.613.896	
Período 3	\$ 87.081.036	\$ 30.478.363	\$ 54.012.667	\$ 2.590.007	\$ 4.165.254	\$ -11.484.480	
Período 4	\$ 41.226.771	\$ 14.429.370	\$ 25.571.214	\$ 1.226.187	\$ 1.971.956	\$ -10.137.607	
Período 5	\$ 36.976.300	\$ 12.941.705	\$ 22.934.828	\$ 1.099.767	\$ 1.768.648	\$ -9.039.416	
Período 6	\$ 55.320.559	\$ 19.362.196	\$ 34.312.992	\$ 1.645.371	\$ 2.646.089	\$ -7.545.768	
Período 7	\$85.542.210	\$ 29.939.773	\$ 53.058.198	\$ 2.544.238	\$ 4.091.649	\$ -5.446.105	
Período 8	\$ 53.234.069	\$ 18.631.924	\$ 33.018.831	\$ 1.583.314	\$ 2.546.288	\$ -9.283.595	-5%
Período 9	\$ 58.063.648	\$ 20.322.277	\$ 36.014.414	\$1.726.958	\$2.777.296	\$ -1.721.972	-2%
Período 10	\$ 32.874.279	\$ 11.505.998	\$ 20.390.519	\$ 977.763	\$ 1.572.440	\$ -1.115.729	-1%
Período 11	\$115.180.316	\$ 40.313.111	\$ 71.441.456	\$ 3.425.750	\$ 5.509.296	\$ 815.246	2%
Período 12	\$ 62.398.717	\$ 21.839.551	\$ 38.703.273	\$ 1.855.893	\$ 2.984.651	\$ 1.766.248	3%
Período 13	\$ 62.653.962	\$ 21.928.887	\$ 38.861.590	\$ 1.863.485	\$ 2.996.860	\$ 2.634.331	4%
Período 14	\$ 64.548.749	\$ 22.592.062	\$ 40.036.846	\$ 1.919.841	\$ 2.996.861	\$ 3.423.498	5%

Fuente: El autor. 2012

El análisis anterior demostró que si se decide invertir en el CENDI, este debe tener una vida útil mayor a 11 meses, dado que el VAN solo es positivo hasta el mes 11 y se tiene una TIR de 2%, de lo contrario financieramente el proyecto no es bueno ya que se tendrían pérdidas.

Si la empresa no decide invertir los \$15.099.568 que costaría el CENDI se puede utilizar un apalancamiento financiero en el cuarto frío, ya que representa una inversión significativa, el interés utilizado esta en función de un crédito corporativo según datos del Banco de la República de Colombia y se calcularán 12 pagos o series uniformes (Tabla 32) ya que por la tasa alta de los intereses no se justificaría alargar el plazo del crédito.

Tabla 32. Anualidad o serie uniforme

	Interés	Monto	Anualidad o serie uniforme
Bancos Comerciales	8,41%	\$12.430.445,00	\$1.684.666,85
Cooperativas financieras	8,68%	\$12.430.445,00	\$1.708.036,37

Fuente: Banco de la república. 2012

Con esta serie uniforme de pagos los costos de 1 año en mantener el nuevo CENDI se describe en la tabla 33 donde se tiene en cuenta la serie uniforme de pagos y los costos fijos del CENDI. Para determinar la ubicación del nuevo CENDI se utilizó el método centro de gravedad con el propósito de mantenerlo equidistante a los puntos de venta, por tal razón no se tuvo en cuenta la bodega y la planta de producción ya que por los volúmenes de mercancía que manejan la ubicación planteada estaría cerca de estos dos puntos; los cálculos del centro de gravedad se detallan en la tabla 34 y 35.

Tabla 33. Costo CENDI

Centos de costos	Mensual
Materia prima e insumos	\$ 2.723.214,00
Coste de personal	\$ 9.563.281,00
Reparaciones	\$ 40.881,00
Costes de mantenimientos	\$ 175.699,00
Gas natural	\$ 14.796,00
Energía eléctrica	\$ 325.789,00
Agua	\$ 185.647,00
COSTOS DE RUTA	\$ 4.048.125,00
Teléfono	\$ 70.000,00
COSTES DE TRABAJOS	\$ 4.860.937,00
Material de oficina	\$ 51.797,00
Material de aseo	\$ 55.433,00
Control de plagas	\$ 66.200,00
Publicidad	\$ 68.654,00
COSTES ADMINISTRACIÓN	\$ 242.084,00
Marmita	\$ 451.884,23
Mezcladora	\$ 38.400,75
Rodillo	\$ 31.876,20
Horno	\$ 21.979,50
Cuarto frío	\$ 93.228,34
Licuadaora	\$ 12.750,00
Oblearios	\$ 27.000,00
Furgón	\$ 126.375,00
COSTES CALCULADOS	\$ 803.494,01
Costos adicionales	\$ 16.563.758,00
TOTAL	\$ 34.756.768,01
Cuarto frío	\$ 1.684.667,00
Arriendo	\$ 1.500.000,00
Servicios	\$ 130.000,00
Sueldo 1 operario	\$ 947.097,00
Mantenimiento	\$ 4.088,00
Transporte	\$ 7.397,00
Sistema de ruteo	\$ 80.000,00
Costos del nuevo CENDI	\$ 4.353.249,00
Total	\$ 39.110.017,01

Fuente: El autor. 2012

Tabla 34. Centro de gravedad

	Punto de venta	x	y	Tarifa R	Vol M3	(R*V)	V*R*X	V*R*Y
C	Terminal	4,655176	74,114778	\$142.875	0,480	\$68.580,000	319251,970	5082791,47
D	Aeropuerto	4,697189	74,138725	\$142.875	1,248	\$178.308,000	837546,376	13219527,8
F	Av Dorado	4,674295	74,113426	\$142.875	0,480	\$68.580,000	320563,151	5082698,75
G	Modelia	4,666511	74,124333	\$142.875	0,192	\$27.432,000	128011,729	2033378,7
H	Candelaria	4,598562	74,072917	\$142.875	0,384	\$54.864,000	252295,505	4063936,51
I	Galerías	4,650342	74,073257	\$142.875	0,576	\$82.296,000	382704,545	6095932,75
J	Nogal	4,658694	74,057852	\$142.875	0,192	\$27.432,000	127797,293	2031554,99
K	Chico	4,680968	74,051971	\$142.875	0,192	\$27.432,000	128408,314	2031393,68
L	Country	4,669601	74,055889	\$142.875	0,192	\$27.432,000	128096,494	2031501,14
M	Santa Bárbara	4,703059	74,049323	\$142.875	0,288	\$41.148,000	193521,471	3046981,54
N	Unicentro	4,702097	74,043045	\$142.875	0,672	\$96.012,000	451457,737	7109020,83
O	Alhambra	4,699274	74,057636	\$142.875	0,288	\$41.148,000	193365,726	3047323,61
P	Colina	4,728508	74,064429	\$142.875	0,192	\$27.432,000	129712,431	2031735,41
Q	Nueva Autop.	4,727503	74,048538	\$142.875	0,288	\$41.148,000	194527,293	3046949,24
R	Villa Prado	4,754586	74,054677	\$142.875	0,192	\$27.432,000	130427,803	2031467,89
S	HC 170	4,755580	74,046416	\$142.875	0,480	\$68.580,000	326137,674	5078103,20
T	La Punta	4,821418	74,198227	\$142.875	0,480	\$68.580,000	330652,846	5088514,40
		4,6973806 34	74,09133772		6,816	\$973.836,000	4574478,36	72152811,9

Fuente: El autor. 2012

Tabla 35. Centro de gravedad 2

d1	Costo	$V \cdot R/d1$	$V \cdot R \cdot X/d1$	$V \cdot R \cdot Y/d1$	X	Y
0,048277095	\$ 3.310,84	1420549,429	6612907,608	105283705,56	4,69131163	74,0878969
0,047387669	\$ 8.449,60	3762751,009	17674352,65	278965562,32		
0,031950566	\$ 2.191,17	2146440,84	10033097,69	159080084,35		
0,045184321	\$ 1.239,50	607113,2446	2833100,634	45001864,31		
0,10052087	\$ 5.514,98	545797,1081	2509881,841	40428783,89		
0,050393903	\$ 4.147,22	1633054,702	7594262,869	120965680,63		
0,051165897	\$ 1.403,58	536138,3631	2497704,575	39705255,54		
0,042651062	\$ 1.170,00	643172,7358	3010670,995	47628208,78		
0,04503687	\$ 1.235,45	609100,9396	2844258,357	45107511,57		
0,042396703	\$ 1.744,54	970547,1749	4564540,626	71868361,24		
0,048522477	\$ 4.658,74	1978711,855	9304095,076	146509850,89		
0,033754861	\$ 1.388,95	1219024,418	5728529,754	90278066,64		
0,041145985	\$ 1.128,72	666699,3214	3152493,075	49378704,55		
0,052337108	\$ 2.153,57	786210,8145	3716813,984	58217761,37		
0,067944552	\$ 1.863,85	403740,978	1919621,202	29898907,72		
0,073519569	\$ 5.041,97	932812,8699	4436066,228	69071449,82		
0,163739387	\$ 11.229,25	418836,3068	2019384,909	31076911,37		
		19280702,11	90451782,07	1428466670,55		

Fuente: El autor. 2012

La ubicación del nuevo CENDI según el modelo de centro de gravedad está entre la Av. calle 80 y la Av. Boyacá con Calles 78A No 70C - 1 a 70C –99

Figura 38. Ubicación del nuevo CENDI



Fuente: Google maps 2012.

Para determinar la secuencia optima de abastecimiento para la bodega y el CENDI la matriz de distancia X_{ij} se muestra en la tabla 36:

Tabla 36. Matriz de distancia X_{ij} con CENDI

	Puntos Km	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	Bodega	0	5.6	4.6	2.8	2.6	15.5	11.5	11	12.7	11.1	14.6	12.7	9.8	11.4	14.1	15.8	17.3	25.1	5.6
1	Terminal	7.9	0	9.3	4.4	4.8	11.4	10.2	11.3	13.5	11.3	18.6	13.1	12.6	14.7	19.9	19.1	26.8	32.3	9.8
2	Aeropuer.	6.9	6.8	0	7.1	3.7	17.7	12.3	15.9	17.3	16	17.3	18	16.8	14.8	19.5	19.3	25.8	29	9.5
3	Av. Dorado	4.1	3.4	4.3	0	2.7	14.3	6.3	9.9	11.2	9.9	10.4	11.2	8.5	10.1	12.5	14.6	19.7	26.3	5
4	Modelia	5.1	3.4	5.8	5.7	0	14.1	11.0	14.6	16.0	14.6	16	16.7	15.5	13	18.2	17.5	25.4	27.2	7.5
5	Candelaria	13.4	11.3	13.6	9.8	12.0	0	6.9	8.2	10.7	9.8	13.6	13.7	15.9	18.8	15.7	20.1	22	34.4	14.2
6	Galerías	13.3	15.3	11.5	7.8	10	7.8	0	3.2	6.3	6.1	8.2	9.2	8.5	13.2	10.3	14.8	16.6	31	9.1
7	Nogal	10	12	15.1	10.4	13.5	8.8	4.3	0	2.6	1.7	6.0	7	7.1	9.9	8.1	12.6	14.4	27.7	7.1
8	Chico	9.6	12.3	14.8	11.0	13.2	11.2	6.6	3.4	0	3.6	3.9	3.3	5.4	8.3	6.0	10.4	12.3	28.3	7.2
9	Country	11.1	13.1	18.8	11.5	17.3	11.1	7.0	2.0	1.7	0	4.4	5.4	4.7	9.4	6.5	11.0	12.8	28.9	7.2
10	Santa Bárbara	10.6	12.2	15.8	10.6	14.2	16.3	9.5	6.7	5.1	6.6	0	1.1	1.6	6.1	3.1	7.6	9.4	28.2	6.4
11	Unicentro	10.8	12.3	16.1	10.7	14.5	15.3	8.5	7.9	4.0	7.8	1.5	0	2.4	7.3	4.3	8.8	10.6	29.4	7.4
12	Alhambra	8.6	10.1	14.6	8.5	13.0	14.4	7.6	4.7	4.9	4.6	1.6	2.5	0	5.9	4.6	9.1	10.9	27.9	5.2
13	Colina	11.7	13.2	15.8	11.6	14.3	20.1	13.3	9.8	11.3	9.7	5.6	6.4	5.7	0	4.6	4.7	5.8	29.3	6.4
14	Nueva Autopista	13	14.5	20.6	12.9	19.1	20.4	13.6	10.8	10.9	10.7	2.8	4.0	6.7	5.4	0	4.8	6.6	30.6	9.6
15	Villa Prado	14.0	15.9	22.2	14.3	20.6	22.0	15.2	12.3	12.5	12.2	8.4	9.2	8.2	5.9	7.3	0	1.2	32.0	11
16	HC 170	15.4	16.9	21.0	17.3	19.5	20.9	14.0	11.2	11.4	11.1	7.3	8.0	7.1	4.8	6.1	1.2	0	34.3	13.4
17	La Punta	22.7	27.9	25.0	26.2	24.7	35.7	28.6	28.1	29.8	28.1	31.6	32.6	26.9	28.4	33.8	32.9	40.1	0	22.7
18	CENDI	4.1	7.6	11.9	5.9	8.5	14	6.4	5.6	7.5	5.6	9.8	10.4	4.9	7.4	11.5	10.5	17.5	23.3	0

Fuente: El autor. 2012

Con base en los resultados obtenidos en Grafos 1.3.5 donde se dividió la ruta en dos, se dejará la misma secuencia para la bodega con los puntos de venta Aeropuerto, Modelia, Terminal, Galerías, Candelaria, Nogal, Country y Chico, los detalles se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 37. Ruta 1 Grafos

		Tiempo promedio (h:m)	Km promedio
A	Bodega		
B	Aeropuerto	13	4,6
C	Modelia	15	3,7
D	Terminal	11	3,4
E	Galerías	26	11,4
F	Candelaria	28	6,9
G	Nogal	18	3,2
H	Country	6	1,7
I	Chico	12	1,7
J	Bodega	27	9,6
Total		2:36	46,2

Fuente: El autor. 2012

Para encontrar la secuencia que minimice kilómetros y tiempos se utilizó el programa Guseck con los siguientes puntos de venta para el CENDI: Av Dorado, Alhambra, Villa del Prado, Santa Barbará, La Punta, Unicentro, HC 170, Colina y Nueva Autopista, como se muestra en la figura 39 y figura 40, la secuencia planteada se presenta en la tabla 38:

Tabla 38. Ruta 2 Guseck

		Tiempo (h:m)	Km promedio
A	CENDI		
B	La Punta	39	23,3
C	Av. Dorado	53	26,2
D	Alhambra	26	8,5
E	Santa Barbará	10	1,6
F	Unicentro	8	1,1
G	Nueva Autopista	13	4,3
H	Villa Del Prado	14	4,8
I	HC 170	7	1,2
J	Colina	13	4,8
K	CENDI	14	6,4
Total		3:16	82,2

Fuente: El autor. 2012

Figura 39. Ruta 2 Guseck

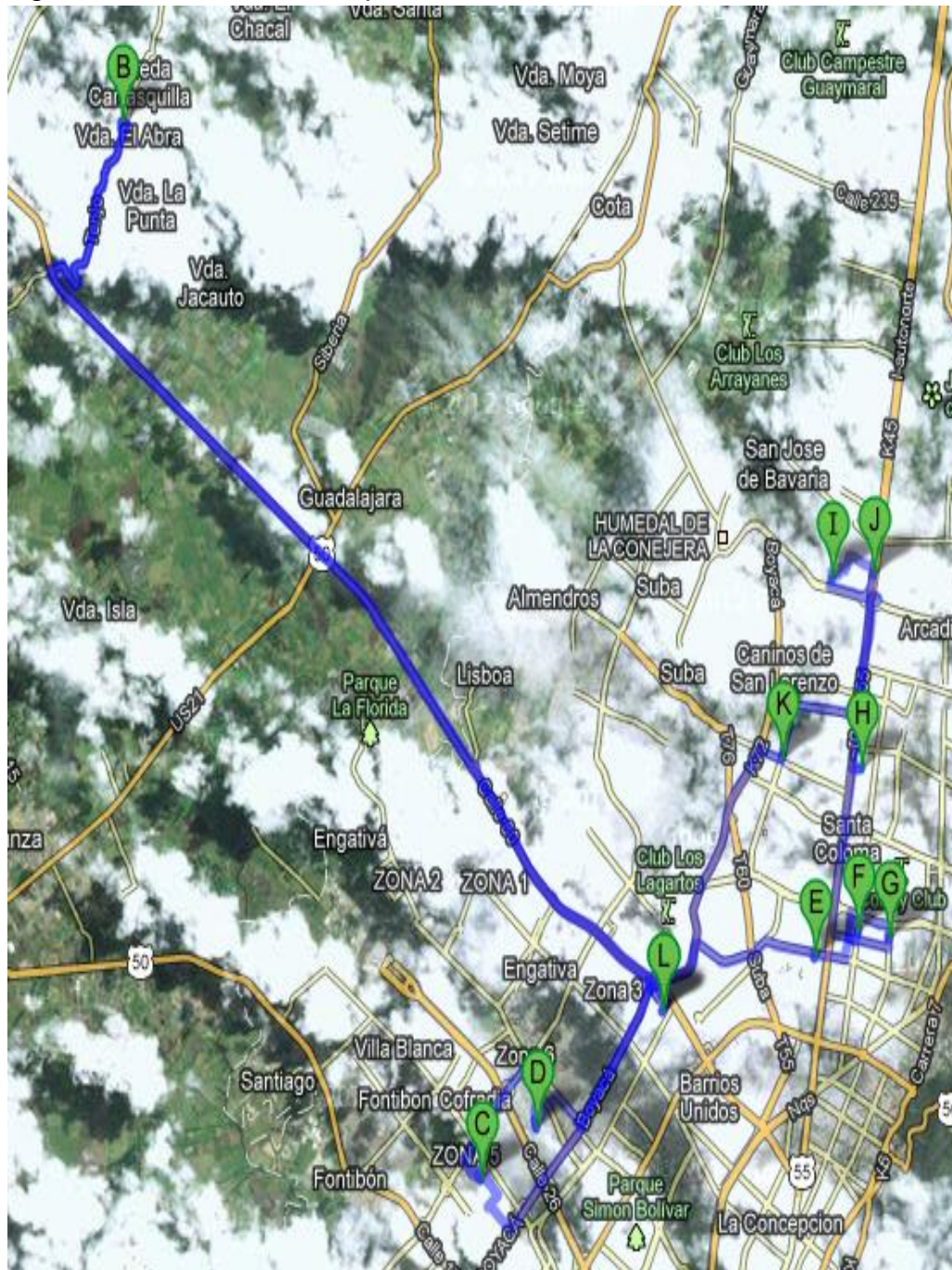
```

Generating total...
Generating leave...
Generating enter...
Generating cap...
Generating node...
Model has been successfully generated
GLPK Integer Optimizer, v4.45
121 rows, 180 columns, 630 non-zeros
90 integer variables, all of which are binary
Preprocessing...
120 rows, 180 columns, 540 non-zeros
90 integer variables, all of which are binary
Scaling...
  A: min|aij| = 1.000e+000  max|aij| = 9.000e+000  ratio = 9.000e+000
Problem data seem to be well scaled
Constructing initial basis...
Size of triangular part = 118
Solving LP relaxation...
GLPK Simplex Optimizer, v4.45
120 rows, 180 columns, 540 non-zeros
  0: obj = 8.500000000e+000  infeas = 1.570e+002 (2)
* 35: obj = 9.571111111e+001  infeas = 1.110e-016 (2)
* 81: obj = 7.715555556e+001  infeas = 6.661e-016 (2)
OPTIMAL SOLUTION FOUND
Integer optimization begins...
Gomory's cuts enabled
MIR cuts enabled
Cover cuts enabled
Clique cuts enabled
Creating the conflict graph...
The conflict graph has 2*90 vertices and 810 edges
+ 81: mip = not found yet >= -inf (1; 0)
Cuts on level 0: gmi = 7; mir = 13;
Cuts on level 7: gmi = 7; mir = 13;
+ 418: >>>> 8.220000000e+001 >= 8.220000000e+001 < 0.1% (8; 0)
+ 418: mip = 8.220000000e+001 >= tree is empty 0.0% (0; 15)
INTEGER OPTIMAL SOLUTION FOUND
Time used: 0.1 secs
Memory used: 0.9 Mb (923585 bytes)
Optimal tour has length 82
From node To node Distance
  1      10      23.3
  2       5       8.5
  3       4       1.1
  4       7       4.3
  5       3       1.6
  6       1       6.4
  7       8       4.8
  8       9       1.2
  9       6       4.8
 10       2      26.2
Model has been successfully processed
>Exit code: 0 Time: 0.862

```

Fuente: Guseck 2.1.2

Figura 40. Recorrido de 15 puntos de venta



Fuente: El autor. 2012

3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Durante la caracterización se determinaron las principales causas que afectan el sistema utilizado por la empresa como la falta de planeación, control y evaluación de los métodos utilizados.
- Se establecieron los puntos de venta con mayor índice de rechazos por incumplimiento en los tiempos demandados por los clientes, así como los puntos de venta con mayor rentabilidad para la empresa.
- Se evidencia que en caso de aumentar la demanda el transporte utilizado por la compañía no tendría la capacidad necesaria para transportar toda la mercancía ya que actualmente se está utilizando en un 94.66%.
- El modelo TSP formulado en los software Guseck 0.2.12 y Grafos 1.3.5 logró disminuir el tiempo de abastecimiento en 70 minutos y el kilometraje en 36.7, con base en la siguiente secuencia: Bodega, Av. Dorado, Aeropuerto, Modelia, Terminal, Candelaria, Galerías, Nogal, Country, Chico, Unicentro, Alhambra, Santa Bárbara, Nueva Autopista, Villa del prado, HC. 170, Colina, La punta, Bodega.
- El desarrollo del sistema logístico planteado estuvo en función de tres variables: El tiempo de un punto de venta al otro, la distancia recorrida y el costo total, variables que fueron determinadas con datos de la empresa, personal que interviene en los diferentes procesos de la cadena de abastecimiento y programas de ingeniería.
- Con el propósito de disminuir el porcentaje de utilización del furgón y mejorar la respuesta al cliente se analizaron tres escenarios donde se contemplo: La contratación de un vehículo especializado en transporte de alimentos para abastecer 8 puntos de venta, contratar un outsourcing para proveer los tres puntos de venta con mayor índice de devoluciones y la implementación de un nuevo CENDI.
- Para el escenario 1 se utilizó el criterio *mTSP* para la división de la ruta y se analizó la viabilidad financiera de realizar el abastecimiento con el transporte de la empresa para 9 puntos de venta y un outsourcing para los restantes, incrementando los costos en \$16.500.00. diarios, si las dos rutas parten al tiempo el abastecimiento de los 17 puntos se realizaria en 3 horas y 19 minutos, disminuyendo el tiempo que tardaria la ruta utilizada por la empresa en 2 horas

y 48 minutos; la secuencia propuesta para la ruta 1 es: Bodega, Aeropuerto, Modelia, Terminal, Galerías, Candelaria, Nogal, Country, Chico, Bodega, con 46.2 kilómetros recorridos. Ruta 2: Bodega, AV. Dorado, Alhambra, Santa Bárbara, Unicentro, Nueva Autopista, Villa Del Prado, HC 170, Colina, La Punta, Bodega, con 81.1 kilómetros recorridos.

- Para el escenario 2 la secuencia optima para los 14 puntos de venta es: Bodega, Modelia, Terminal, Av Dorado, Aeropuerto, Colina, Villa Del Prado, Hc 170, Nueva Autopista, Santa Bárbara, Alhambra, Nogal, Country, Chico, La Punta, Bodega, tardando cuatro horas y veinticuatro minutos en el abastecimiento y se recorrería una distancia de 105 kilómetros. Dicho outsourcing incrementaría los costos en \$ 6.500.00 diarios según los análisis financieros.
- Se analizó la implementación de un centro de acopio de mercancía o CENDI, el cual presenta una inversión de \$15'099.568.00 y debe presentar más de 11 meses de utilización para ser rentable según los indicadores VAN y TIR; en caso de utilizar un apalancamiento financiero (Capital propio y externo) por doce meses el costo del CENDI es de \$4.353.249,00 mensuales,
- El método centro de gravedad determinó la ubicación del CENDI entre la Av. calle 80 y la Av. Boyacá con Calles 78A No 70C - 1 a 70C – 99, con coordenadas 4,691311631, -74,08789693, el sistema de abastecimiento para el CENDI y la bodega es: Bodega, Aeropuerto, Modelia, Terminal, Galerías, Candelaria, Nogal, Country, Chico, Bodega.
CENDI, La Punta, Av. Dorado, Alhambra, Santa Barbará, Unicentro, Nueva Autopista, Villa Del Prado, HC 170, Colina, CENDI
- En el siguiente cuadro se comparan las diferentes alternativas propuestas:

Tabla 39. Comparación de Soluciones

	Tiempo (H:M)	Km promedio
Ruta sin modificaciones	6:07	149
Programación lineal	4:58	112,3
Escenario 1	3:19	81,1
Escenario 2	4:24	105
Escenario 3	3:16	82,2

Fuente: El autor. 2012

CONCLUSIONES

- Por medio de la caracterización se logró determinar las principales falencias del sistema utilizado por la empresa y se plantearon diferentes alternativas de solución en función del tiempo, costo y distancias.
- Se utilizaron herramientas, teorías, conceptos y programas propios de la ingeniería industrial en un problema real, obteniendo resultados que superaron las expectativas de la empresa.
- Aunque el modelamiento del TSP a priori parece tener una solución relativamente fácil en la práctica este tipo de problemas requieren de conceptos claros y de acuerdo al número de variables que presente el problema es necesario tener programas especializados.
- Después de analizar diferentes modelos de ruteo se decidió utilizar el problema del agente de comercio ya que se logró adaptar a las necesidades de la empresa y modelar en diferentes softwares.
- Durante el desarrollo del proyecto se presentaron diferentes alternativas de cómo realizar el abastecimiento de los puntos de venta con y sin incrementar los costos logísticos contemplados por la empresa permitiendo así mejorar la toma de decisiones.
- Se logró concientizar el impacto que presenta una adecuada administración de la cadena de abastecimiento en el mercado y de utilizarlo como elemento diferenciador al presentar un tiempo de respuesta mayor que el de la competencia.
- La propuesta desarrollada buscó optimizar la cadena de abastecimiento de Alimentos José A Ltda. como una ventaja competitiva al mejorar el nivel de servicio y respuesta al cliente, introduciendo una cultura organizacional de evaluación, medición y control.

RECOMENDACIONES

- Planear y organizar los procesos de la empresa en torno a las necesidades del cliente se puede utilizar como elemento diferenciador en el mercado y afianzar la relación usuario-empresa.
- Se debe tener en cuenta las opiniones de todo el personal de la empresa y reconocer sus aportes ya que son los empleados los que conocen a fondo el problema y pueden solucionarlo.
- Es necesario la utilización de indicadores logísticos en la compañía que sirvan de retroalimentación continua en el sistema de abastecimiento y permitan tomar decisiones más eficientes y oportunas.
- Se debe implementar en la empresa una cultura organizacional de planeación, control y evaluación periódica en la cadena de abastecimiento con el fin de mejorar y controlar el proceso logístico.
- En los meses y días en que la demanda aumenta considerablemente es necesario que la producción esté disponible antes de las 8 a.m. con el fin de iniciar el abastecimiento en horas de poca congestión.
- Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo periódico al vehículo para evitar fallas durante el abastecimiento de los puntos de venta.
- El mantenimiento preventivo y correctivo así como el suministro de combustible se deben realizar al finalizar el abastecimiento de los puntos de venta.

BIBLIOGRAFÍA

BORWNLEE, Jason. 2011. *Lever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes*. Australia. Copyright.

CAUSO LOPEZ, Rafael. 1993. *Programación lineal y decisiones económicas*. Venezuela. Exlibris.

CIPOLETA GEORGINA, Tomassia. 2010. *Políticas integradas de infraestructura, transporte y logística: Propuestas internacionales y propuestas iniciales*. Santiago de Chile, CEPAL Naciones Unidas.

CONCEPCIÓN MAROTO Álvarez. 2002. *Investigación operativa, modelos y técnicas de optimización*. Valencia. Editorial de la UPV,

FLORES, Ortiz. 2007. *Importancia de la incorporación temprana a la investigación científica en La Universidad de Guadalajara, México*.

HERNÁNDEZ CARDUÑA, José. 2000. *Investigación de operaciones en la cadena administrativa*. México. Partincel hall.

MUÑOZ ZULUAGA. Rubén Darío. 2005. *Diccionario de logística y negocios internacionales*. Bogotá, Ecoe ediciones.

PARCE W, David. 1999. *Diccionario Akal de economía moderna España*. Mc Millian Press Ltda.

PERES URIBE, Rafael Ignacio. 2009. *Modelo de modernización para la gestión de organizaciones*. Bogotá. Universidad EAN. Vicerrectora de investigación.

RONALD H, Ballou. 2004. *Logística y administración de la cadena de suministro*. México. Pearson educación.

SALLAN. José. 2004. *Métodos cuantitativos de organización industrial I*. España. Ediciones UPC.

TUYA, Javier. 2007. *Técnicas cuantitativas para la gestión en la ingeniería del software*. España. Netbiblo.

VICENS SALORT, Eduardo. 2001. *Métodos cuantitativos volumen 3*, Universidad Politécnica de Valencia.

WANG JUN&KUSIAK, Andrew. 2001. *Computational intelligence in manufacturing handbook*. U.S.A. CRC PRESS LLC.

CIBERGRAFÍA

Acta de inspección para transporte de alimentos. Internet.
http://www.bogota.gov.co/portel/libreria/php/frame_detallecv.php?h_id=24317

Biblioteca de la Universidad Javeriana. <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis>
Carga Perecedera. Internet. <http://freightforwardingbogota.com/es/servicesservicios/perishable-cargocarga-perecedera/>

Conformación de la malla vial. Intenet <http://danielpolania.wordpress.com/2012/03/01/a-bogota-ya-no-le-caben-mas-carros/>

Especificaciones GUSECK. Internet. <http://spokutta.wordpress.com/the-gnu-linear-programming-kit-glpk/>

Estado de la malla vial en Bogotá D.C. Intenet. <http://www.invias.gov.co/>

GRUPO FIDALEX S. A. Carga Perecedera. Internet.
http://www.cargainfo.com/front_content.php?idcat=1231&idart=2740

Índices de desempeño. Internet <http://datos.bancomundial.org/indicador/>

Logística en Colombia: camino hacia la competitividad. Internet.
<http://revistasupuestos.uniandes.edu.co/?p=64>

Movilícese en Bogotá. Internet <http://www.transitobogota.gov.co/>

Revista logística Bogota. Intenet. <http://www.revistadelogistica.com>

Bogotá D.C. 16 de Noviembre de 2012

Señores:

COMITÉ DE PROYECTOS

UNIVERSIDAD LIBRE

Facultad de Ingeniería industrial

Ciudad

Yo ANDRÉS FELIPE CORONADO CONTRERAS identificado con cédula de ciudadanía número 1.014.212.631 de Bogotá. D.C. presento el Proyecto de grado titulado "SISTEMA DE RUTEO PARA ALIMENTOS JOSÉ A LTDA", cuyo director es el ingeniero Ever Ángel Fuentes Rojas.

Atentamente,

ANDRÉS FELIPE CORONADO CONTRERAS

C.C: 1014212631 de Bogotá D.C.

Bogotá D.C. 16 de Noviembre de 2012

Señores:

COMITÉ DE PROYECTOS

UNIVERSIDAD LIBRE

Facultad de Ingeniería industrial

Ciudad

Cordial saludo;

De manera atenta me permito informar que el estudiante ANDRÉS FELIPE CORONADO CONTRERAS identificado con código: 062072036 y cedula 1.014.212.31 de Bogotá D.C. realizó su proyecto de grado titulado "Sistema de ruteo para alimentos José A Ltda." bajo mi aprobación y continua supervisión.

Atentamente,

Ing. EVER ÁNGEL FUENTES ROJAS
Director Proyecto de Grado